



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NOVÉ ŘEŠENÍ NASTAVOVÁNÍ REFLEKTORU VE SVĚTLOMETU

NEW SOLUTION FOR SETTINGS CAR HEADLAMPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Willi GLATTER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student: Bc. Willi Glatter

který studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Nové řešení nastavování reflektoru ve světlometu automobilu

v anglickém jazyce:

New Solutions for Settings Car Headlamps

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Rozbor plastových dílů světlometu.
3. Konstrukční návrh dílu "Adjustment element" v návaznosti na vyrobitelnost.
4. Pevnostní simulace (3D software, výsledky, zhodnocení).
5. Zkouška funkčnosti na simulačním pracovišti.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle diplomové práce:

Nově pojaté řešení pro plastový díl světlometu, směřující ke spolehlivějšímu seřízení konstrukčního celku jak při montáži, tak v reálném provozu.

Seznam odborné literatury:

1. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. KRSEK, Aleš, Herbert OSANA, Ivan KURIC a Daniel PROSTREDNÍK. Strojárska metrológia a riadenie kvality. Bratislava: STU, 2002. ISBN 80-227-1025-3.
4. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. ISBN 80-7204-405-2.
5. KLETEČKA, Jaroslav a Petr FORT. Technické kreslení. 1. vyd. Brno: CP Books, 2005. 255 s. ISBN 80-251-0498-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 4.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.

Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem práce je vyvinout nový nastavovací element. Byly navrženy tři konstrukční návrhy, které byly následně pevnostně simulovány pro různé materiály. Byl vybrán nejvhodnější materiál a přistoupilo se k výrobě navrhovaných variant. Tyto varianty byly poté zaimplementovány do světlometu, byly postupně měřeny a zkoušeny. Během měření byla posuzována změna polohy hranice světla a tmy po zkouškách odolnosti proti teple a po vibračních zkouškách. Výsledkem je výběr jediného materiálu a jediného konstrukčního řešení nastavovacího elementu, který zaručuje snadnou a rychlou montáž a spolehlivé seřízení reflektoru, pro standardizaci dílu a implementaci do nově vyvíjených světlometů.

Klíčová slova

nastavovací, element, světlomet, konstrukční, pevnostní, měření

ABSTRACT

The aim is to develop new adjusting element. There were three versions of engineering design suggested, which were consequently simulated for various materials. Optimal material was chosen and came up to production suggested variants. These variants were consequently implemented to the headlamp and were consequently measured and tested. During measuring was under consideration change of CutOff line position after heat immunity and vibration tests. Result is selection only one material and only one engineering design of adjusting element solution, which warrants easy and fast assembly and confidential adjusting of reflector, for standardization and implementation to recently develop headlamps.

Key words

adjusting, element, headlamp, design, solidity, measuring

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GLATTER, Willi. *Nové řešení nastavování reflektoru ve světlometu*. Brno 2014.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav
strojírenské technologie. 88 s. 5 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Nové řešení nastavování reflektoru ve světlometu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Willi Glatter

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Milanu Kalivodovi za odborné a metodické vedení při zpracování této diplomové práce. Chci poděkovat firmě HELLA AUTOTECHNIK NOVA, s.r.o. za umožnění a podporu při vypracování tohoto zadání. Dále bych rád poděkoval Ing. Ivu Strakovi za odbornou pomoc při zpracování konstrukčních návrhů a při procesu standardizace a Ing. Petru Svobodovi za odbornou pomoc při posouzení výsledků pevnostních simulací.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 ROZBOR PLASTOVÝCH DÍLŮ SVĚTLOMETU	12
1.1 Obalové díly světlometu	13
1.1.1 Pouzdro.....	13
1.1.2 Krycí sklo	14
1.1.3 Těsnící krytky	15
1.1.4 Ventilační elementy	16
1.1.5 Centrální konektor	16
1.1.6 Fixační elementy	17
1.2 Vnitřní díly světlometu	17
1.2.1 Pohledové vnitřní díly světlometu	17
1.2.1.1 Krycí rámečky.....	18
1.2.1.2 Reflektory	19
1.2.2 Nepohledové (funkční) vnitřní díly světlometu.....	20
1.2.2.1 Nastavovací elementy	20
2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH DÍLU „ADJUSTING ELEMENT” V NÁVAZNOSTI NA VYROBITELNOST.....	21
2.1 Catia V5	21
2.1.1 Vlastnosti Catia V5	22
2.2 Konstrukční návrh dílu	23
2.2.1 Konstrukční návrh – varianta 1.....	24
2.2.2 Konstrukční návrh – varianta 2.....	28
2.2.3 Konstrukční návrh – varianta 3.....	32
2.3 Posouzení vhodnosti konstrukčních návrhů.....	37
2.3.1 Vhodnost použití dílu – varianta 1.....	37
2.3.2 Vhodnost použití dílu – varianta 2.....	37
2.3.3 Vhodnost použití dílu – varianta 3.....	38
3 PEVNOSTNÍ SIMULACE.....	40
3.1 Software	41
3.1.1 HyperWorks	42

3.1.2 Příprava výpočtového modelu	45
3.1.3 Typy úloh	47
3.1.3.1 Dynamické úlohy	47
3.1.3.2 Statické úlohy	51
3.2 Výsledky pevnostních simulací.....	53
3.2.1 Výsledky FEM – konstrukční návrh – varianta 1	54
3.2.2 Výsledky FEM – konstrukční návrh – varianta 2.....	58
3.2.3 Výsledky FEM – konstrukční návrh – varianta 3.....	64
3.3 Zhodnocení výsledků pevnostních simulací	70
4 ZKOUŠKA FUNKČNOSTI NA SIMULAČNÍM PRACOVÍŠTI	72
4.1 Měření světelných funkcí – goniometr	77
4.2 Teplotní zkoušky – měření HDG	78
4.2.1 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 1	79
4.2.2 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 2.....	80
4.2.3 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 3.....	81
4.3 Vibrační zkoušky – měření HDG	82
4.3.1 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 1	83
4.3.2 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 2	84
4.3.3 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 3	85
5 DISKUZE	86
5.1 Návrh pokračování řešení	87
6 ZÁVĚR	88
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	89
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	91
SEZNAM PŘÍLOH	92

ÚVOD

Přední světlomet je jedním z nejdůležitějších světelných prvků automobilu. Slouží nejen k tomu, aby byl automobil vidět, ale také k tomu, aby řidič automobilu pokud možno co nejlépe viděl na cestu a její blízké okolí, přitom však neoslňl řidiče v protijedoucím vozidle.

Na celosvětovém trhu lze pozorovat neustálý vývoj a nástup stále nových technologií. Od reflektorových systémů, přes projekční systémy (např. xenonové moduly) až k LED technologií. V poslední době se začíná mluvit i o světlometech, kde má být zdrojem světla laserové záření. Stále zde platí, že čím novější technologie, tím dražší automobil. V dnešní době je ještě pořád nejrozšířenější systém reflektorů s klasickou halogenovou žárovkou (obr. 1). Ale i to se časem změní.

Světlomety dnes podléhají vysokým designovým nárokům, kde si zákazník přeje vyrobit reflektory různých tvarů a velikostí, vše je zakryto designovými díly (tzv. rámečky) různých barev, povrchů, matovaných struktur, a to vše bez jediné sebemenší vady na kráse. Výrobce tedy musí plnit stále složitější požadavky na konstrukci, výrobu a montáž a musí hledat stále nové technologie a řešení, aby dostal nejen požadavkům zákazníka, ale především požadavkům legislativním. Světlomet musí v první řadě správně a dostatečně svítit.

I když i v této oblasti jsou většinou požadavky automobilových závodů mnohem tvrdší než zákon.

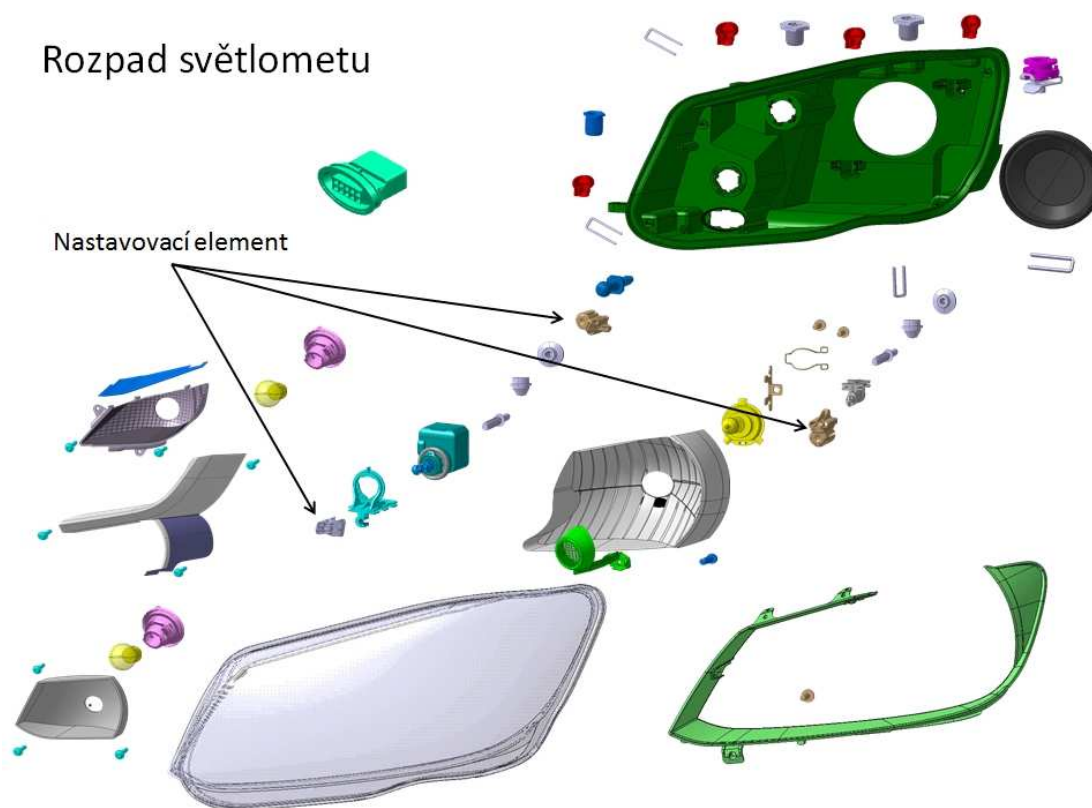
Samotná konstrukce světlometu je čím dál tím náročnější. Ve světlometech přibývá stále více dílů, zatímco místo vyhrazené v automobilu pro světlomet se stále zmenšuje. Zástavbová velikost světlometu je téměř vždy omezována prvky kapoty a díly v motorovém prostoru. Je nutno tedy již při konstrukčním návrhu hledat taková řešení, která budou splňovat funkčnost světlometu a budou co nejméně prostorově náročná. Za tímto účelem byl v kooperaci s firmou **HELLA AUTOTECHNIK NOVA, s.r.o.** vyvinut nový nastavovací element, který dopomáhá ke správnému výškovému a stranovému nastavení reflektoru.



Obr. 1 Přední světlomet halogenový – H4. [2]

1 ROZBOR PLASTOVÝCH DÍLŮ SVĚTLOMETU

Tato kapitola se zabývá rozбором halogenovým světlometům s reflektorovým systémem svícení. Jako příklad je uveden rozpad světlometu na obr. 2. Téměř všechny díly světlometu můžeme označit za tenkostěnné. Obálku světlometu tvoří především pouzdro a krycí sklo, dále díly jako centrální konektor, těsnící krytky a ventilační elementy. Uvnitř světlometu se nachází designové díly, které jsou pohledové a jsou na ně kladeny vysoké kvalitativní nároky. Zpravidla nesmí být viditelné žádné poškození povrchu dílů. Mezi tyto díly patří rámečky, které plní dekorativní funkci a reflektory, které musí zároveň plnit funkci světelnou. Počet rámečků ve světlometu může být jeden až například deset, na tomto počtu je závislá cena světlometu, která je odrazem designového a konstrukčního provedení. Konstrukce se samozřejmě odráží na způsobu montáže a technologii výroby. Reflektory bývají v halogenových světlometech dva až čtyři, samostatné nebo různě sdružené. Reflektory musí plnit funkce tlumeného světla, dálkového světla, denního světla, odbočovacího světla a pozičního světla.



Obr. 2 Rozpad halogenového světlometu – H4. [3]

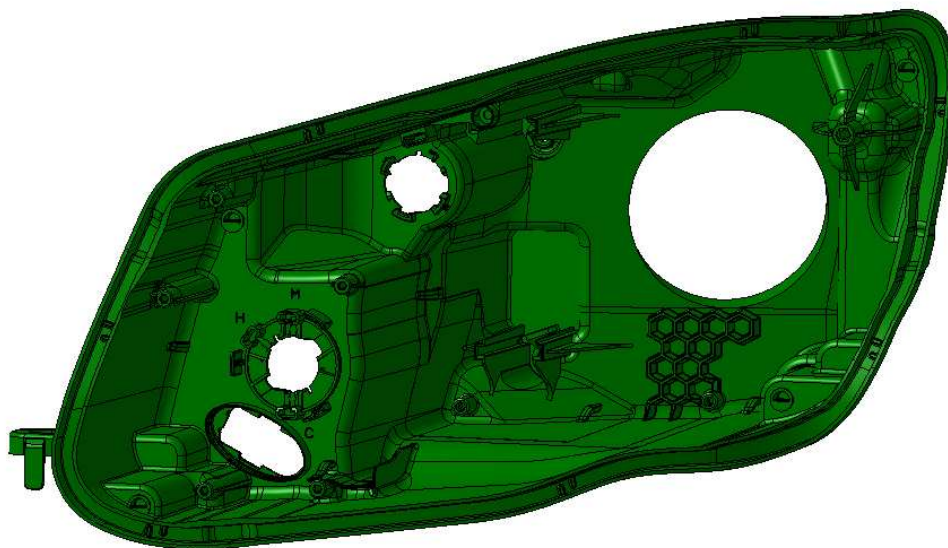
Dále se uvnitř světlometu nacházejí díly, které plní pouze funkční podstatu, z vnějšku automobilu nebývají vidět (mimo žárovek) a nejsou na ně kladeny designové nároky. Jsou to např. nosné rámy, uchycovací elementy, **nastavovací elementy** (viz obr. 2), šrouby, krokový motor, svazek kabelů, objímky žárovek, žárovky a plechy jako tepelná ochrana. Bez těchto dílů by byl světlomet nefunkční, jsou jeho nedílnou součástí. Většina z nich podléhá standardizaci, což má příznivý vliv na cenu světlometu, avšak některé jsou pro daný projekt specifické, a je třeba je vyvinout a vyrobit.

1.1 Obalové díly světlometu

Jak již bylo řečeno, hlavními obalovými díly je pouzdro a krycí sklo. Tyto dva díly zauímají maximální zástavbový prostor světlometu, který je od automobilky k dispozici. Na pouzdře jsou přichyceny díly sloužící k výměně žárovek (gumové nebo plastové těsnící krytky), k cirkulaci vzduchu ve světlometu (ventilační elementy), k připojení elektrického zdroje (centrální konektor) a k upevnění světlometu do automobilu (fixační elementy), které téměř ve sto procentech případů podléhají standardizaci.

1.1.1 Pouzdro

Pouzdro je díl, na který zpravidla nejsou kladeny vysoké designové nároky. Zároveň jsou na něj kladeny vysoké pevnostní nároky i za zvýšených teplot (přes 100 °C). Slouží jako nosný prvek celého světlometu, jsou na něm umístěny fixační body (viz kapitola 1.1.6), za které je pak světlomet uchycen do vozidla; je do něj lepeno krycí sklo, jsou do něj montovány rámečky, jsou v něm uchyceny reflektory a prakticky všechny zbývající díly. Nese tedy celou váhu. Proto se vyrábí z materiálů, které mají ve struktuře příměs skelných vláken – nejčastěji materiály „PBT-ASA GF30, PBT+ASA GF20, PP T40, PP GF30.“[1] Ač nese celou váhu světlometu, je tloušťka stěny pouzdra v rozmezí pouhých „1,6 – 2 mm.“[1] Pouzdro můžeme pokládat za jeden z konstrukčně a výrobně nejsložitějších dílů světlometu.



Obr. 3 Pouzdro.

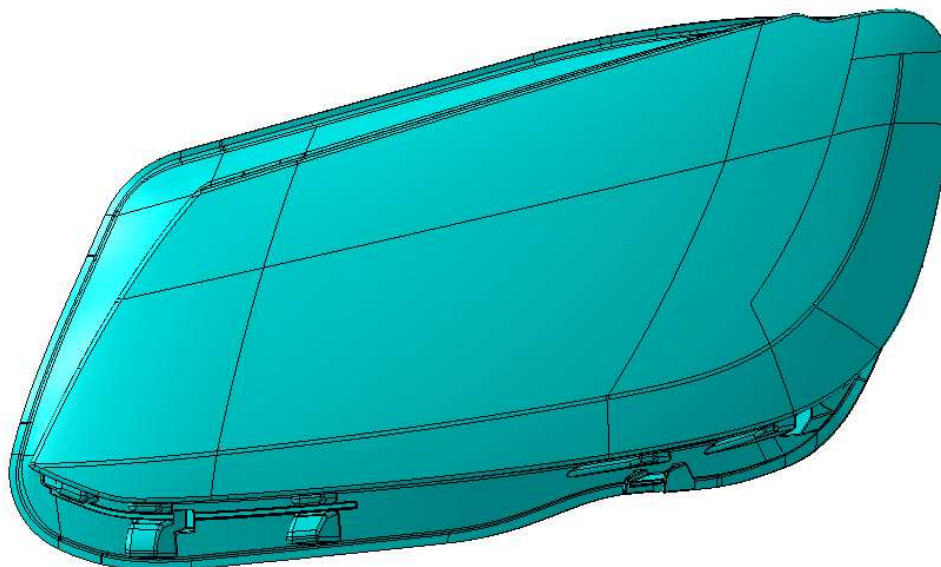
1.1.2 Krycí sklo

Krycí sklo je v průběhu života automobilu poměrně dost namáhaným dílem, na který jsou navíc kladeny přísné nároky co se viditelných vad a poškození týče. Krycí sklo musí perfektně lícovat s karosérií automobilu, čehož se dá do jisté míry dosáhnout nastavitelnými fixačními elementy světlometu. Zevnitř na něj působí teplota, která je dána dopadajícím zářením z rozsvícených reflektorů na plochu skla. Zvnějšku je krycí sklo opatřeno ochranným lakem, který chrání před různými a navzájem se lišícími vlivy, vůči kterým je krycí sklo vystaveno a musí jim odolat. Jsou to např. voda, vítr, mráz, slunce, posypová sůl, nemrznoucí směs z odšťikovačů a v neposlední řadě chemikálie, které uživatel použije k umytí světlometu nebo celého auta u tankovací stanice, v myčce nebo v místě bydliště.

Název krycí sklo je matoucí, protože již od poloviny devadesátých let je díl vyráběn z plastu. Jedná se tedy o historicky zažitý název z dob, kdy byl díl opravdu vyráběn ze skla. V dnešní době se krycí sklo vyrábí především z materiálů „PC Lexan LS, PC Macrolon“[1] o tloušťce stěny mezi „2 – 3 mm“[1] a je opatřováno různými ochrannými laky, jako zástupce můžeme uvést lak označení „UVT610 V6“[1], jehož vrstva se pohybuje v rozmezí „9 – 15 μm .“[1]

U tohoto dílu se již pravidelně setkáváme s technologií dvoukomponentního vstřikování. Jedna část skla je čirá a druhá černá. Dvoukomponentní vstřikování umožňuje vyrobit čelní čirou část krycího skla bez použití šoupáku, která je pak hladká bez stop po šoupácích.

Tato technologie je z důvodu velkých rozměrů dílu poměrně náročná na konstrukci a výrobu formy, což se odrazí na ceně formy.



Obr. 4 Krycí sklo.

1.1.3 Těsnící krytky

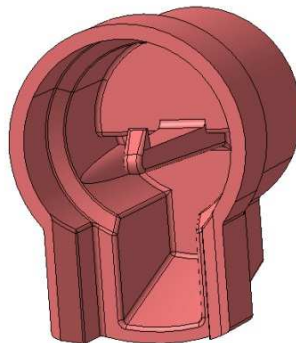
Těsnící krytky zajišťují možnost výměny žárovek, jsou to standardizované díly různých průměrů nacházejících se na pouzdře. Jejich přesná geometrie je velice důležitá z pohledu těsnosti světlometu. Těsnící krytky se dělí na plastové a gumové.



Obr. 5 Gumová těsnící krytka. [4]

1.1.4 Ventilační elementy

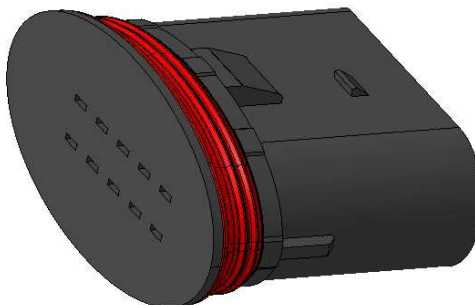
Ventilační elementy zajišťují cirkulaci vzduchu a umožňují odpaření zkondenzované vody uvnitř světlometu a odmlžení světlometu, které může nastat vlivem různých klimatických podmínek. Mohou být gumové nebo plastové, různých druhů a tvarů.



Obr. 6 Ventilační element. [4]

1.1.5 Centrální konektor

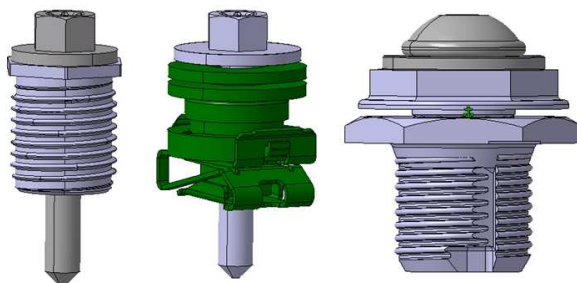
Centrální konektor slouží jako rozhraní mezi elektronikou světlometu a elektronikou vozidla. Je montován do pouzdra. Uvnitř světlometu jsou do něj napojeny kabelové svazky, které jsou dále rozvedeny ke světelným funkcím, krokovému motorku a popřípadě dalším elektricky řízeným součástem světlometu. Z vnějšku je do centrálního konektoru kontaktován protikus kabelového svazku automobilu. Jelikož kontaktování probíhá z vnějšku, musí být kontakty konektoru vyrobeny z materiálu odolného proti korozi. Tělo konektoru je pak vyrobeno z plastové hmoty.



Obr. 7 Centrální konektor. [4]

1.1.6 Fixační elementy

Fixační element musí dostatečně pevně uchytit světlomet ve vozidle a zároveň musí mít nastavitelný polohovací rozsah pro vyrovnání pozice světlometu vůči karoserii. Jedná se hlavně o dodržení konstantní šířky spáry mezi krycím sklem a okolními díly karoserie, jakou jsou např. nárazník, blatník, mřížka chladiče a kapota. Fixační elementy mohou také obsahovat ochranné prvky, které při nárazu a vyvinutí určitého tlaku prasknou a uvolní světlomet, tyto ochranné prvky slouží především jako ochrana chodců při střetu s automobilem.



Obr. 8 Fixační elementy. [4]

1.2 Vnitřní díly světlometu

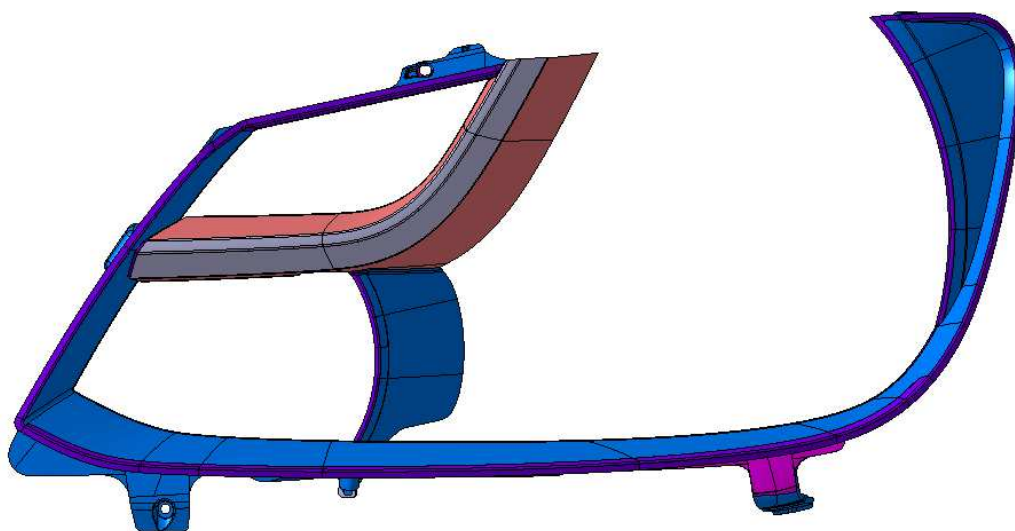
Vnitřní díly světlometu se dělí na díly pohledové, které jsou viditelné a dekorativní s důrazem na kvalitu vzhledu, dále na díly nepohledové, které z vnějšku vidět nejsou s důrazem na funkčnost.

1.2.1 Pohledové vnitřní díly světlometu

Dá se říci, že vnitřní viditelné díly světlometu tvoří jeho designovou „duši“, jsou nejdůležitější pro konečný vzhled světlometu a pro dojem, který uživatel nabude, když si jde automobil koupit. Linie těchto dílů jsou v souhře s liniemi karoserie automobilu a pomáhají vytvářet dojem ladnosti, dravosti, honosnosti, mohutnosti a dalších vlastností, kterých výrobce chce, aby uživatel nabyl po zhlédnutí vozidla. Mezi viditelné vnitřní díly se řadí krycí rámečky a reflektory, v některých případech to také mohou být přídavná optická skla, ozdobné lišty atd.

1.2.1.1 Krycí rámečky

Slouží jako zakrytí vnitřních funkčních dílů světlometu a zabraňují prostupu bočního světla. Různé tvary, barvy, struktury povrchů, odlišné technologie výroby, výběr různých plastových materiálů na základě vzhledu a funkčnosti dílu, složitá konstrukce za dodržení přísných zásad a mnohdy ještě složitější výroba, podléhání přísným kvalitativním nárokům a kontrolám. Tak se dají charakterizovat krycí rámečky. Díly musí odolávat teplotní zátěži, musí vykazovat určitou pevnost a tuhost, aby při montáži nebo následně v běžném provozu nedocházelo k jejich porušení nebo poškození. Tyto vlastnosti jsou nejprve v průběhu vývoje světlometu zkoumány a posuzovány pomocí pevnostních a teplotních simulací, navíc jsou zapojeny simulace vstřikovacího cyklu a tečení materiálu. Tuhost, pevnost a odolnost vůči teplotě je pak již na vyrobeném světlometu, ať už je to prototyp, první výpadový kus nebo nultá série, ověřována systémem zkoušek a testů. Tloušťka stěny krycích rámečků se pohybuje mezi „2 – 3,5 mm. “[1]

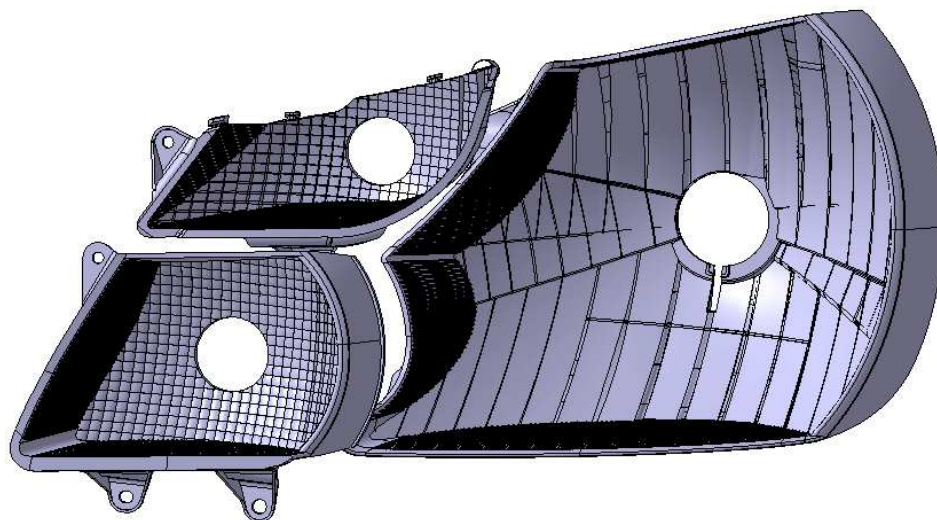


Obr. 9 Krycí rámečky.

1.2.1.2 Reflektory

Reflektory vykonávají hlavní funkce světlometu. Dalšími funkcemi světlometu jsou funkce přídatné, mezi které patří denní světlo, odbočovací světlo a poziční světlo. Reflektory musí v první řadě splňovat legislativní požadavky pro světelné hodnoty s ohledem na homologovatelnost světlometu. Teprve pak je věnováno úsilí splnit požadavky zákazníka na světelné hodnoty a vzhled reflektorů. Reflektory jsou tedy zároveň funkční a pohledové díly. Ve světlometu se nacházejí hlavní funkce, což jsou světlo tlumené a světlo dálkové.

Reflektory musí být nastavitelné, aby světlomet správně svítil tam, kam má a jak má, aby neoslňoval protijedoucí vozidla, zároveň poskytl řidiči dostatek světla a aby splnil legislativní požadavky. K tomu slouží nastavovací řady, do kterých je reflektor uchycen. Nastavovací řady se skládají z nastavovacích elementů.



Obr. 10 Reflektory.

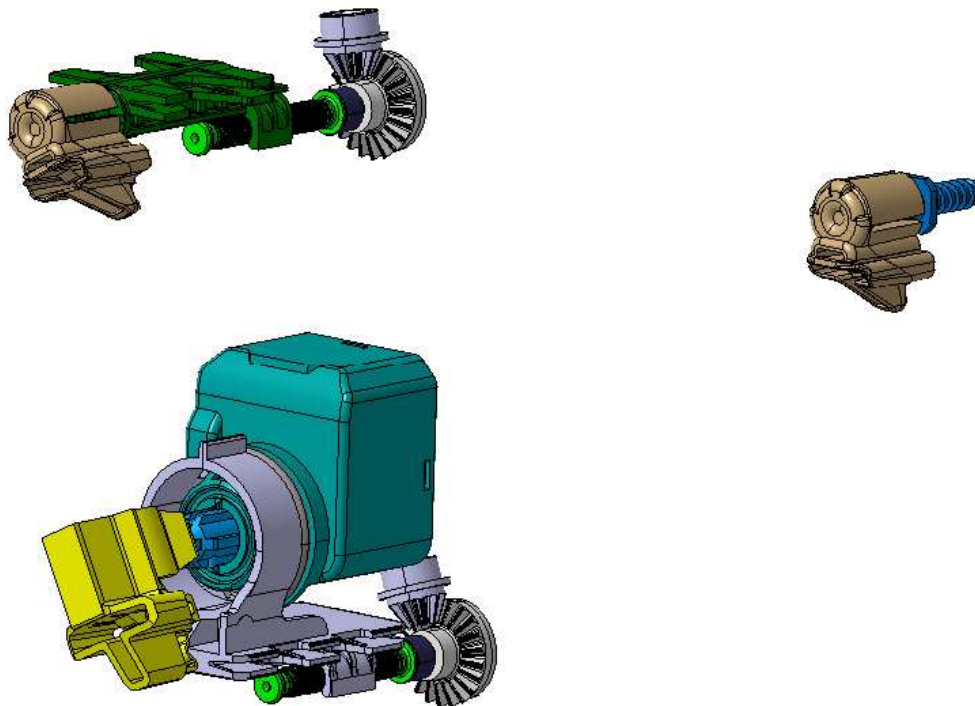
1.2.2 Nepohledové (funkční) vnitřní díly světlometu

Nepohledové vnitřní díly jsou díly, které nějakým způsobem pomáhají světlometu plnit jeho funkci. Mohou vyztužovat nebo fixovat některé díly, zajišťovat nastavitelnost a pohyb reflektorů, rozvádět elektrické řídicí signály nebo odvádět teplo z kritické oblasti.

1.2.2.1 Nastavovací elementy

Nastavovací elementy zajišťují nastavitelnost a pohyb reflektoru ve světlometu. Nastavovací elementy jsou díly různých druhů, rozměrů a tvarů, z kterých se pak skládají celé nastavovací řady reflektorů. Kvůli omezenému zástavbovému prostoru a snaze mít co největší reflektor, aby co nejlépe svítil, se stále vyvíjejí menší a menší nastavovací elementy, které však nebudou svou funkčností horší než jejich předchůdci spíše naopak. Plnění stále přísnějších požadavků zákazníka na zkoušky světlometu nutí vývojáře ke stále důmyslnějším řešením.

Konkrétně v našem případě vyvstal interní požadavek vyvinutí nového nastavovacího elementu, montovaného mezi reflektor a krokový (nastavovací) motorek.

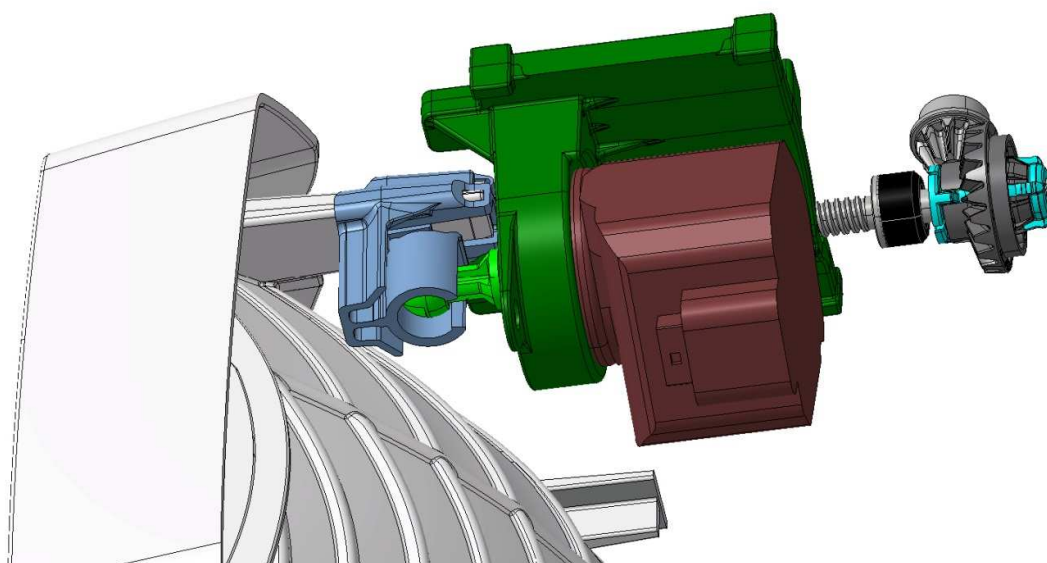


Obr. 11 Nastavovací řada světlometu.

2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH DÍLU „ADJUSTING ELEMENT” V NÁVAZNOSTI NA VYROBITELNOST

Adjusting element je technicky zažitý a používaný anglický název pro nastavovací element. S cílem zmenšit zástavbový prostor, zmenšit neaxiální namáhání na hřídel nastavovacího motorku a zaručení spolehlivějšího nastavení konstrukčního celku (Obr. 12) bylo rozhodnuto o vývoji nového nastavovacího elementu.

Konstrukční 3D návrh dílu je proveden v CAD softwaru Catia V5 od firmy Dassault Systemes.



Obr. 12 Konstrukční celek nastavovacího systému světlometu (zleva: reflektor, nastavovací element, držák nastavovacího motorku, nastavovací motorek, nastavovací šroub s těsněním a ozubenými nastavovacími kolečky).

2.1 Catia V5

„Catia je vlajkový CAD/CAM/CAE systém od francouzské firmy Dassault Systemes. Software Catia je distribuován prostřednictvím firmy IBM a jejich obchodních partnerů. Catia umožňuje pokrýt celý proces životního cyklu produktu – od návrhu, přes konstrukci, simulace, analýzy, až po vlastní výrobu a údržbu. Díky integraci celého procesu a jeho simulaci, se snižuje potřeba fyzických prototypů, zkracuje se vývojový cyklus, snižují se náklady a zvyšuje se kvalita konečného výrobku. “[5]

„Catia Versoin 5 nabízí řešení, které je odpovědí na požadavky jak malých a středních podniků, tak i velkých průmyslových korporací ve všech oblastech průmyslu. Již tradičně je Catia velmi silná v oblasti leteckého (Boeing, Bombardier, Cesna atd.) a automobilového (VW, Škoda, BMW, Audi, Porsche, Chrysler atd.) průmyslu. Pozadu nezůstává ani ve strojírenství. Je oblíbená u průmyslových podniků, které využívají potřeby vytvářet a pracovat s velkými sestavami. Mezi zákazníky patří například velké společnosti jako Staubli a Giddings & Lewis, nebo menší výrobci jako Klippan, Polynorm nebo Tweko. “[5]

„Díky rozsáhlým možnostem při modelování plošných povrchů, návrhu a výroby forem, či kvalitnímu renderingu je Catia velmi dobrým nástrojem i pro průmysl spotřebního zboží. Jedním z příkladů může být společnost Good Year nebo L’Oréal, které využívají nástroje Catia pro návrh obalů na šampóny. Stejně jako pro spotřební zboží je Catia velmi vhodná i pro návrhy elektrického nářadí či produktů spotřební elektroniky. Pro návrhy svých výrobků jsou softwarem Catia vybaveny firmy jako Elektrolux, Husqvarna, Black & Decker, Philips a další. “[5]



Obr. 13 Logo Dassault Systemes – Catia. [5]

2.1.1 Vlastnosti Catia V5

„Catia V5 je “hybridní modelář”, což znamená, že kombinuje v jednom modelu jak plošné, (surface) tak i objemové (solid) elementy. Právě tato volnost při výběru modelovacích technik a možnost je kdykoliv kombinovat, činí software Catia V5 tak silným systémem. Velkou výhodou je také možnost nepovinné parametrizace. Díky tomu konstruktér může rozhodnout, jestli díl zaparametrizuje a využije tím výhod parametrických modifikací nebo bude provádět změny prostřednictvím modifikací jednotlivých elementů.

Všechny moduly a modelovací techniky jsou integrovány, takže změny jednotlivých modelů či elementů se okamžitě projeví i na souvisejících dílech. Samozřejmostí je podpora tvorby digitálního prototypu (Digital Mock-up) a souběžného konstruování (Concurrent Engineering). “[5]

„Catia V5 je systém založený na nových technologiích (OpenGL, Java ...) a používá tzv. specifikační modelářský systém. Ten umožňuje uchovávat designerské, konstrukční i výrobní specifikace jako součást modelu. Tím, že konstruktérovo i firemní know-how je uchováno v modelu, se usnadňují pozdější změny. Catia V5 je nezávislá na platformě, je možné ji provozovat jak na UNIX-ových platformách, tak i na platformě Windows. Uživatelské prostředí na všech platformách vypadá stejně a je velmi snadné naučit se ho používat. “[5]

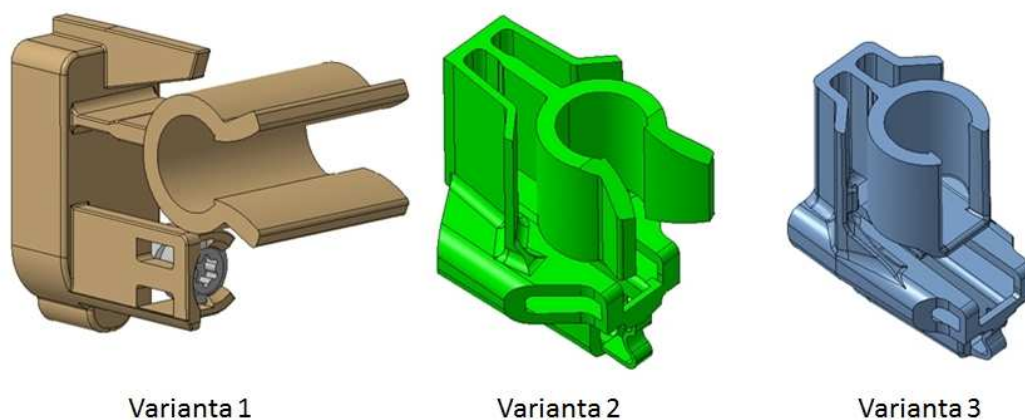
„Stejně jako u předchozí verze je Catia V5 velmi dobře “škálovatelná” a to jak ve smyslu sestavení jednotlivých produktů do konfigurací dle potřeby, tak i ve smyslu rozlišení uživatelského prostředí s ohledem na různé uživatele. Jednotlivé moduly (produkty) jsou sdružovány do konfigurací a ty jsou pak děleny dle oblasti určení na Mechanical Design, Analysis apod. Vše je pak členěno do platform. Právě platformou je specifikováno, pro jaké uživatele jsou konfigurace nebo produkty určeny. Všechny platformy jsou vytvořeny na základě stejné architektury a produkty z jednotlivých platform lze kombinovat. “[5]

2.2 Konstrukční návrh dílu

Při samotném konstrukčním návrhu bylo uvažováno více možných variant řešení.

- Varianta 1: nastavovací element s pružnou částí uchycený na dóm reflektoru pomocí šroubu.
- Varianta 2: nastavovací element s pružnou částí uchycený pomocí pružného zácvaku na tzv. velký T-dóm na reflektoru.
- Varianta 3: nastavovací element s pružnou částí uchycený pomocí pružného zácvaku na tzv. malý T-dóm na reflektoru.

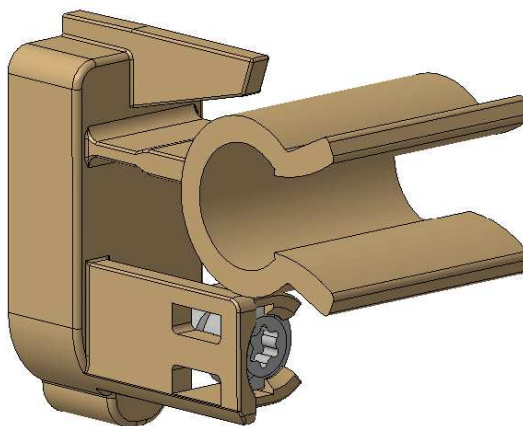
U všech variant je uvažována volba z materiálu POM, PBT a PBT-GF10. Materiály budou dále specifikovány a voleny v kapitole simulací.



Obr. 14 Varianty řešení konstrukčního návrhu.

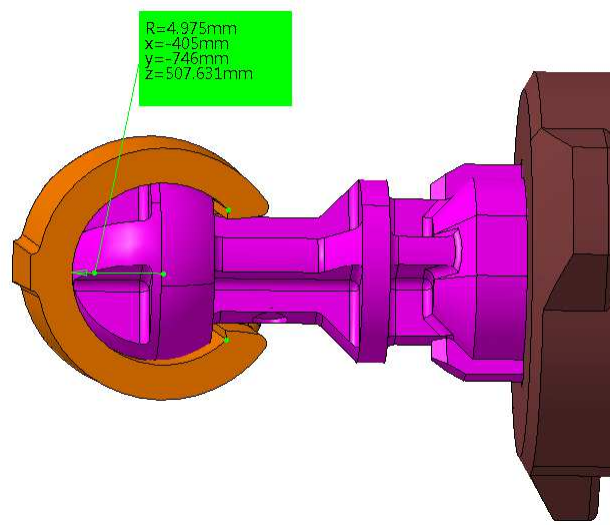
2.2.1 Konstrukční návrh – varianta 1

Nastavovací element s pružnou částí uchycený na dóm reflektoru pomocí šroubu (obr. 15).



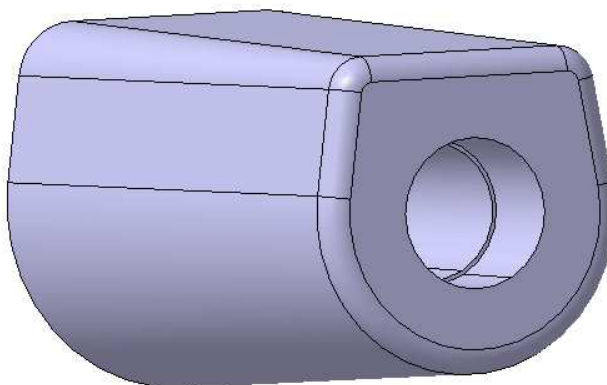
Obr. 15 Nastavovací element se šroubem – varianta 1.

Nejprve byla vytvořena geometrie pro hlavu hřídele nastavovacího motorku o poloměru $R=4,95$ mm (obr. 16). Průměr této geometrie byl převzat ze staršího řešení nastavovacího elementu pro zvolený typ nastavovacího motorku. Tento poloměr je fixní, vymezuje přesnou vůli z hlediska funkčnosti a montáže, nebude měněn ani u jedné z variant. Následně byla na geometrii dodělána žebírka (viz obr. 15), která by dle úvah měla pomáhat při vymezení pozice při pohybu do stran tedy v případě, kdy tlak vniklý pohybem působí proti žebírkům.



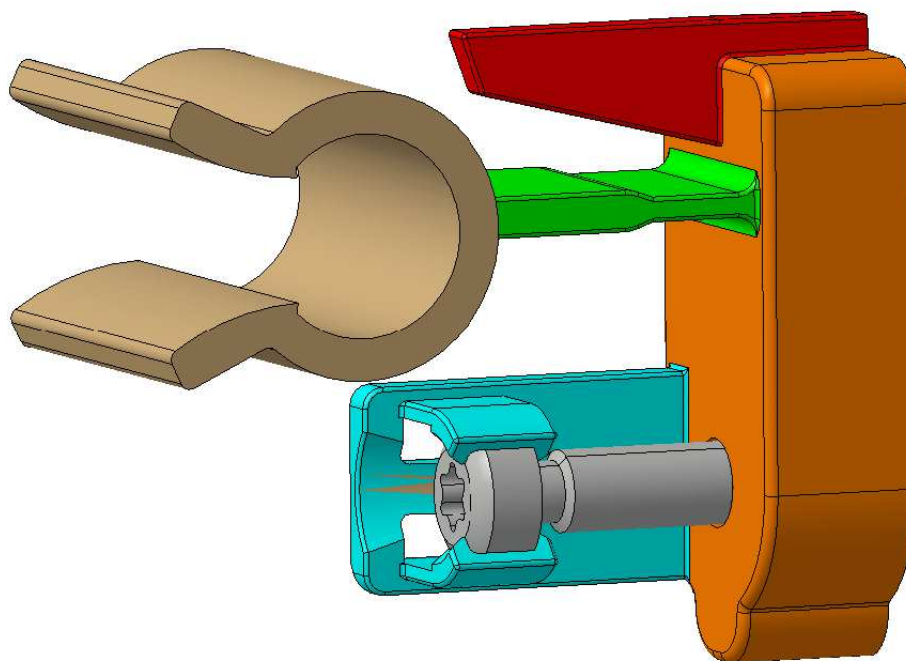
Obr. 16 Geometrie pro hlavu hřídele nastavovacího motorku.

Dalším krokem bylo zajištění dostatečně pevného spojení nastavovacího elementu s reflektorem. K tomuto účelu byl použit standardní dóm pro šroub, používaný pro díly vyráběné z materiálu LPP. Zde je třeba zdůraznit, že při implementaci geometrie dómu na reflektor je třeba dbát na konstantní tloušťku stěny dílu a otvor pro šroub vybrat až k optickým plochám na vzdálenost tloušťky stěny. Jedině tímto řešením lze předejít tvorbě propadlin v optických plochách, které vedou k viditelným vadám a nesprávnému svícení v podobě nechtěného světla.



Obr. 17 Dóm pro šroub – materiál LPP.

Následně se konstrukční návrh ubíral směrem k vytvoření geometrie pro šroub na nastavovacím elementu. V tomto případě byl řešen problém ohledně montáže, který byl po konzultaci s montážním expertem vyhodnocen jako rizikový a vysoce pravděpodobný. Jednalo se o složitou montáž, kdy byl na dóm reflektoru volně nasazen nastavovací element a obsluha montáže následně musela vrtačkou se šroubem již na bitu trefit malý otvor v omezeném prostoru kolem geometrie pro hřídel nastavovacího motorku. Bylo zhodnoceno, že by mohlo docházet k padání šroubků, poškození dílu a zbytečným prodlevám při montáži. Bylo přistoupeno k tvorbě přichycovací geometrie šroubu, která je znázorněna na obr. 18 (modře vyznačená oblast) tak, aby byla zajištěna správná pozice šroubu před šroubením. To znamená, že šroub je přichycen k nastavovacímu elementu a špička šroubu je již zasunuta v díře pro něj určené. Při montáži se pak šroub při vyvinutí určitého tlaku uvolní z uchycovací geometrie tím, že se tato geometrie rozevře kolem hlavy šroubu a dosedne kam má. Výhodou je značné usnadnění a zrychlení montáže. Nevýhodou je pak nutnost zřízení pracoviště, kde je skupina složená ze šroubu a nastavovací elementu sestavena a odtud dodávána na montážní linku daného světloometu. Nutno podotknout, že této přidržovací geometrii byl věnován značný čas při simulacích a následně při průběhu optimalizací na reálných kusech.



Obr. 18 Přichycovací geometrie pro šroub (modrá), pružný element (zelená), vymezovací žebro (červená), základna (oranžová).

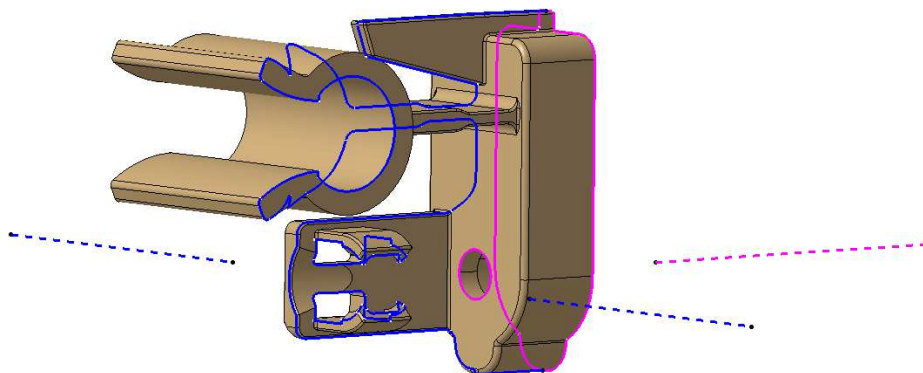
Nutným krokem byla tvorba základny, která obsahuje dosedací geometrii na dóm reflektoru. Základna je vyobrazena na obr. 18 oranžovou barvou. Při tvorbě základny bylo dbáno na vymezení a dodržení vůle mezi dómem reflektoru a dosedací geometrii. Dosedací geometrie musí zaručit snadnou a bezchybnou montáž a zajištění správné polohy nastavovacího elementu. Při fixaci nesmí docházet k otáčení nastavovacího elementu, toto zabezpečí tvar dómu (viz obr. 17).

Nejdůležitějším prvkem nastavovacího elementu je pružná část (žebro), které při pohybu dílů v rámci nastavení světlometu, kdy hlava hřídele nastavovacího motorku tlačí proti geometrii nastavovacího elementu, se kterou je v kontaktu a zaručuje svou pružnou deformací vychýlení v potřebném směru. Zatížení hřídele nastavovacího motorku musí být přenášeno především v axiálním směru hřídele. V ostatních směrech by mělo být co nejmenší. Právě toho umožňuje ve vertikálním směru docílit zmiňované pružení. V horizontálním směru pak v potřebném pohybu mezi hlavou hřídele nastavovacího motorku a nastavovacím elementem nic nebrání. Rozměry stykové geometrie nastavovacího elementu s hřídelem nastavovacího motorku byly navrženy tak, aby v horizontálním směru nedocházelo k vyklouznutí hlavy hřídele z této geometrie. Správnost těchto rozměrů a potřebný rozsah pružení byl pro hraniční případy stanoven kinematickou simulací. Aby nedocházelo k příliš velkému ohybu a nadměrnému namáhání pružného prvku, bylo navrženo vymezovací žebro (obr. 18 – červená oblast), které slouží jako dorazová geometrie pro maximální možné vychýlení. Ve spodní části plní funkci dorazové geometrie uchycovací geometrie pro šroub (obr. 18 – modrá oblast).

Tím, že je hřídel nastavovacího motorku namáhána pouze v axiálním směru hřídele (namáhání v ostatních směrech se dá zanedbat) předcházíme možnému poškození samotného motorku, vzniku nežádoucích pnutí a poruše na souvisejících dílech (především pnutí a deformaci reflektoru). Pnutí a deformace v reflektoru mají obrovský vliv na jeho funkčnost jak z hlediska mechanického, tak z hlediska požadovaného správného svícení.

Samozřejmostí při konstrukčním návrhu je otázka vyrobitelnosti dílu. Návrh odformovacích směrů a dělicích rovin je znázorněn na obr. 19. Dosedací geometrie na dóm reflektoru, zadní strana základny a díra pro šroub jsou formovány šoupákem – růžový směr. Zbylá geometrie je formována v hlavním lisovacím směru – modrý směr. Důležité je, aby dělicí rovina nezasahovala do stykové geometrie s hlavou hřídele nastavovacího motorku a ta se tak mohla v této geometrii volně pohybovat, bez zasekávání o stopu po dělicí rovině. Proto byla dělicí rovina vyvedena na okraj této geometrie. Pro přidržovací

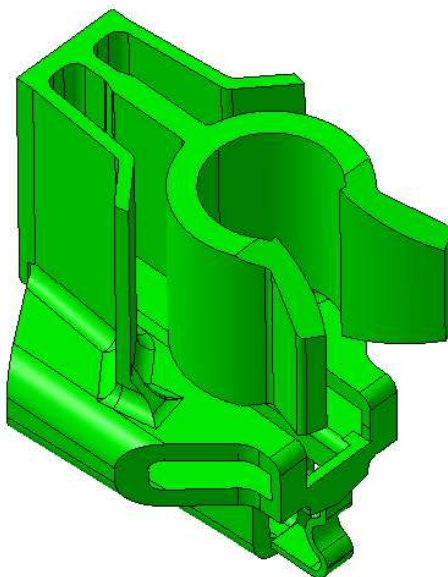
geometrii pro šroub bylo zvoleno odformování zezadu skrze malé otvory. V tomto místě bylo s hlediska malých tlouštěk materiálu a obtížného chlazení doporučeno formovat tuto geometrii pomocí vložky z materiálu Moldmax. Vložka v nástroji navíc umožňuje snadnější a levnější úpravy při potřebě optimalizace uchycovací geometrie pro šroub.



Obr. 19 Odformovací směry a dělicí roviny.

2.2.2 Konstrukční návrh – varianta 2

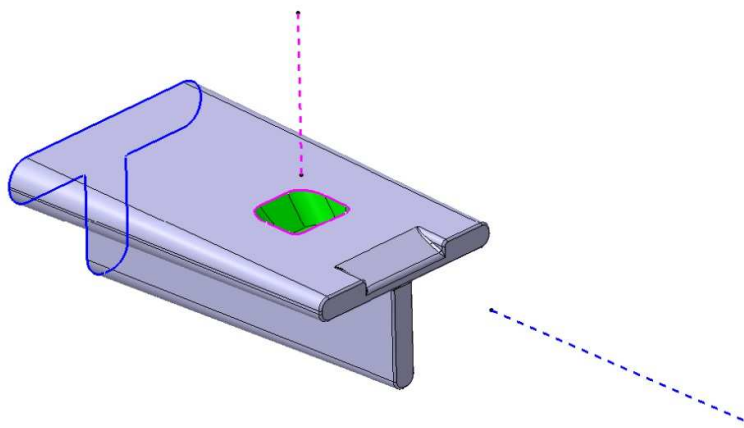
Nastavovací element s pružnou částí uchycený pomocí pružného zácvaku na tzv. velký T-dóm na reflektoru (obr. 20).



Obr. 20 Nastavovací element – varianta 2.

V prvním kroku návrhu druhé varianty byla převzata geometrie pro hlavu hřídele nastavovacího motorku s fixním poloměrem $R=4,95$ mm z první varianty (obr. 16). Tato geometrie byla pro odlišnost řešení otočena o 90° . Nyní je vertikální pohyb volný a horizontální pohyb zajištěn pružícím prvkem. Na stykové geometrii s hlavou hřídele nastavovacího motorku byla (oproti variantě 1) pomocná vymezení žebírka ze stran seříznuta. Zmenšení těchto žeber pomohlo ušetřit zástavbový prostor a usnadnit montáž reflektoru na nastavovací řady.

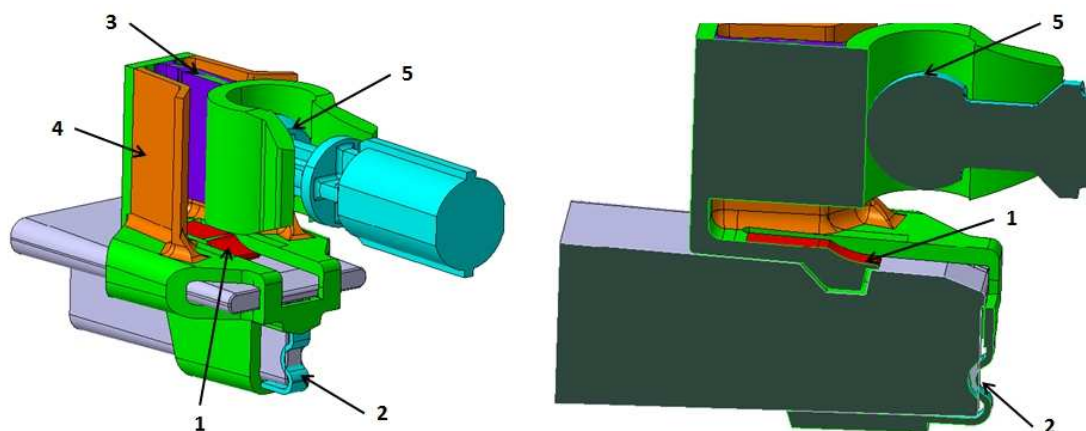
Pro spojení s reflektorem byla navržena nová geometrie tzv. velkého T-dómu (obr. 21). Geometrie velkého T-dómu byla navržena tak, aby bylo minimalizováno riziko vzniku propadlin v optických plochách reflektoru. To znamená, že v místě spojení geometrie dómu s reflektorem nedochází k nahušťování materiálu a není dosahováno nepřijatelných změn tloušťek stěny oproti celému reflektoru. V tom hraje významnou roli délka velkého T-dómu a odformovací úhly. Odformovací úhly v hlavním odformovacím směru (obr. 21 – modrý směr) byly zvoleny v rozmezí od $1,5^\circ$ do 2° , což by pro tuto geometrii a materiál LPP mělo být dostačující.



Obr. 21 Velký T-dóm.

Velký T-dóm byl navržen za účelem vymezení správné polohy nastavovacího elementu při montáži. Proti pootočení nám brání samotný tvar dómu – “tvar T”. Proti posunu ve směru podélném (modrém směru) je pak nastavovací element fixován ve správné pozici zácvakem, který je udržován v permanentním předpětí pomocí esovité pružné geometrie, která vyvíjí neustálý protitlak. Geometrii pro zacvaknutí (obr. 21 – zelená oblast) nastavovacího elementu je nutno formovat malým šoupákem – růžový směr, jak je znázorněno na obrázku. Při konstrukčním návrhu reflektoru a návrhu pozice velkých

T-dómů je třeba dbát na jejich natočení a směry šoupáků. T-dómy bývají na reflektoru zpravidla tři, aby bylo zaručeno bezpečné uchycení a plnohodnotné nastavení reflektoru. Je tedy třeba věnovat čas analýze směrů těchto šoupáků a vyhodnotit zda jejich pozice a směry jsou z hlediska konstrukce formy možné. Musí být zabráněno jejich vzájemnému křížení a kolizi. Což není ve všech případech zrovna jednoduchá záležitost, pak se přistupuje k možnému vytočení směru šoupáku o určitý dovolený počet stupňů. Na obr. 22 je znázorněn nacvaklý nastavovací element na geometrii velkého T-dómu a hřídel nastavovacího motorku (vlevo) a řez přes střed součástí (vpravo) pro lepší vyobrazení fixační geometrie.



Vyobrazení geometrií

Řez středem geometrií

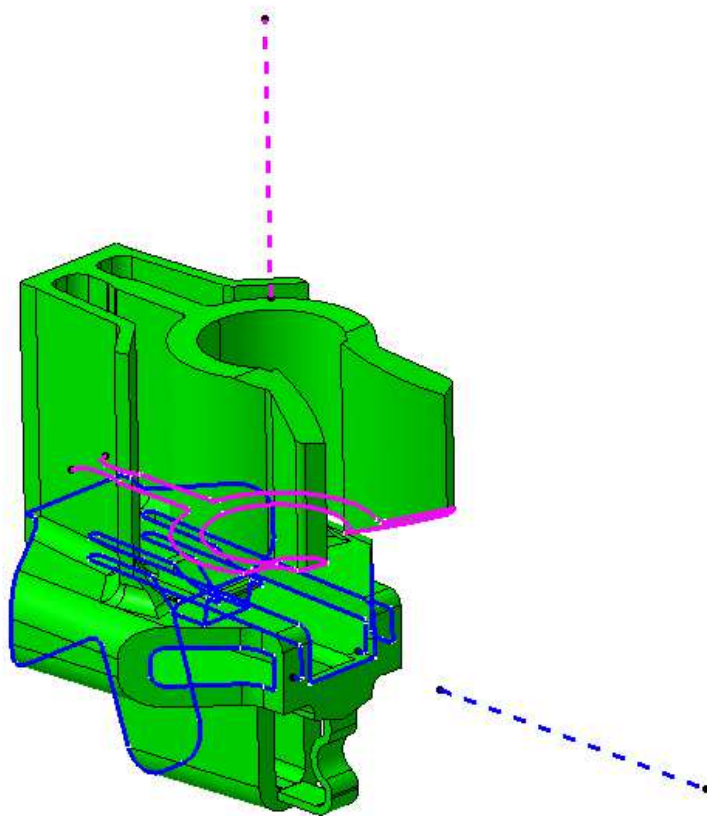
Obr. 22 Sestava – velký T-dóm, nastavovací element, hřídel nastavovacího motorku (vlevo); řez středem sestavy (vpravo). Pozice: 1 – fixační zácvak (červená oblast), 2 – esovitá pružná geometrie (světle modrá oblast), 3 – pružný element (fialová oblast), 4 – vymežovací žebra (oranžová oblast), 5 – kulová hlava hřídele nastavovacího motorku.

Při nasouvání nastavovacího elementu na velký T-dóm se geometrie fixačního zácvaku (1) nejprve vychýlí ze své polohy. Toto vychýlení bude simulováno a geometrie optimalizována. Následně fixační zácvak dosedne do otvoru na T-dómu pro něj připraveného. Zároveň se zdeformuje esovitá pružná geometrie (2), která pak bude vyvíjet tlak proti fixačnímu zácvaku (1) a zaručí nám tak správnou funkčnost fixace celku.

Geometrie pružného elementu (3) je podobná jako u varianty 1, jen je o něco kratší a má nepatrně větší tloušťku stěny. Rozsah pohybu stykové geometrie pro kulovou hlavu hřídele nastavovacího motorku (5) je vymezen dorazovými žebry (4), o které se styková geometrie v krajních polohách zapře. Tyto žebra brání porušení pružného elementu (3)

a znehodnocení součástí. Rozsah stranového pohybu byl určován z kinematických simulací a byl uznán jako dostačující s velkou rezervou, která je pak schopna kompenzovat výrobní a montážní nepřesnosti dílů.

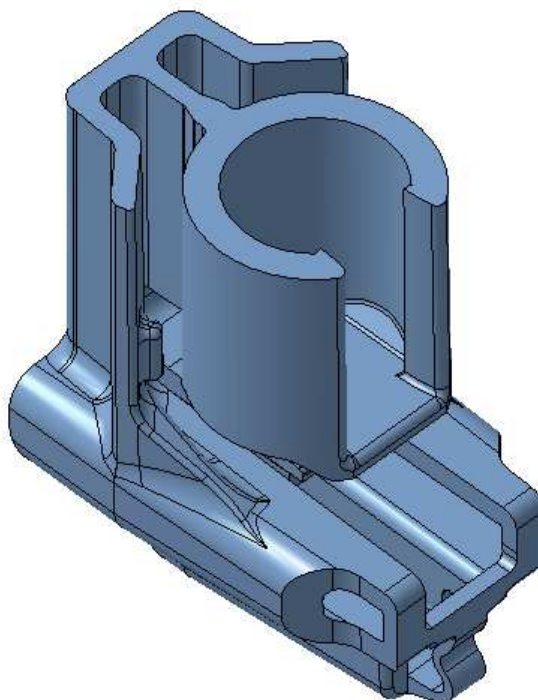
Návrh odformovacích směrů a dělicích rovin je znázorněn na obr. 23. Geometrie dosedací na velký T-dóm včetně fixačního zácvaku a esovité pružné geometrie je formován v hlavním formovacím směru – modrý směr. Styková geometrie pro hřídel nastavovacího motorku, pružný element i vymezovací žebra jsou formovány šoupákem v růžovém směru. Z hlediska výrobitelnosti stojí za zmínku, že styková geometrie pro hlavu hřídele nastavovacího motorku geometrie formovaná šoupákem bude vytahována s nulovými úkosy, což je z hlediska malých rozměrů nastavovacího elementu možné.



Obr. 23 Odformovací směry a dělicí roviny.

2.2.3 Konstrukční návrh – varianta 3

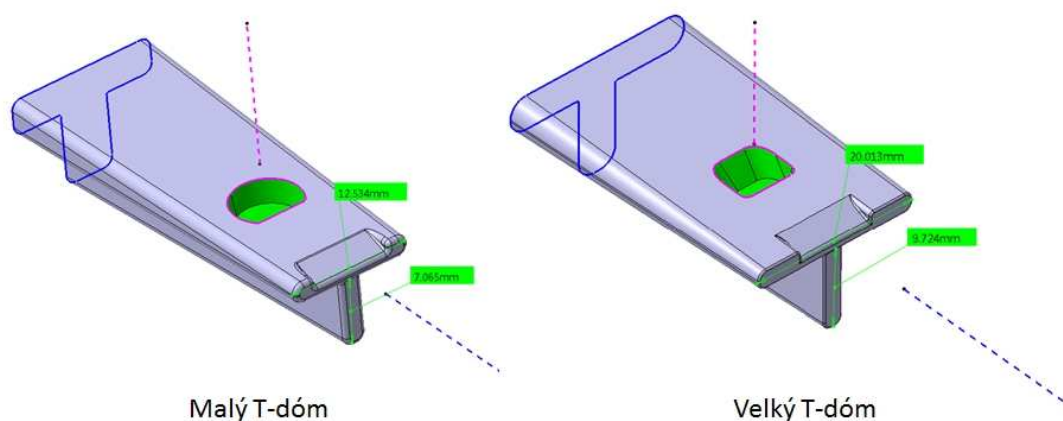
Nastavovací element s pružnou částí uchycený pomocí pružného zácvaku na tzv. malý T-dóm na reflektoru pomocí pružného zácvaku (obr. 24).



Obr. 24 Nastavovací element – varianta 3.

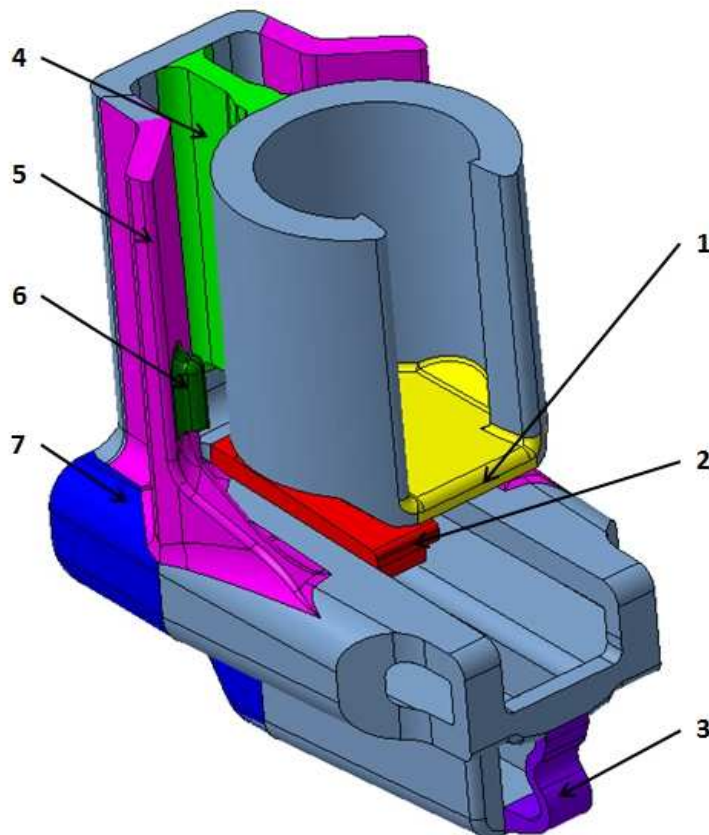
Tato varianta návrhu vychází z varianty 2. Avšak oproti variantě 2 se zde nachází mnoho rozdílů, pro laika okem z obrázku těžko pozorovatelných, které jsou však pro funkčnost součásti samotné velmi důležité. Trvalo velmi dlouho tyto “drobnosti” odladit. V první řadě má díl oproti předchozí variantě velkou výhodu v tom, že je asi o 25 % rozměrově menší. Pro dosažení zmenšení geometrie dílu byl navrhnut nový tzv. malý T-dóm (obr. 25 – vlevo). Horizontální rozměr byl zmenšen z 20 mm na 12,5 mm a vertikální rozměr byl zmenšen z 9,7 mm na 7 mm. Menší rozměry malého T-dómu snižují riziko tvorby propadlin v optické ploše na minimum, dá se říci, že toto riziko je pro reflektory z materiálu LPP zanedbatelné. Funkčnost geometrie zůstala zachována. Pevnost geometrie byla simulována a byla zhodnocena jako dostatečná s velkou rezervou. Nicméně další zmenšení se nedoporučuje a to z hlediska pevnosti, výrobitelnosti

i funkčnosti. Byla pozměněna dosedací geometrie pro zácvak nastavovacího elementu. Očekává se lepší zacvaknutí, lepší vymezení polohy a větší bezpečnost proti vycvaknutí. Princip zaformování je stejný jako u velkého T-dómu, jak je znázorněno na obr. 25. Hlavní směr – modrý v tomto směru je formována celá geometrie T-dómu kromě geometrie pro zácvak nastavovacího elementu, která je formována šoupákem ve vedlejším odformovacím směru – růžový. I v tomto případě je třeba při návrhu reflektoru, při pozicování T-dómů dbát na jejich vzájemnou pozici a předcházet křížení vedlejších odformovacích směrů. Kdyby docházelo ke kolizi šoupáků byla by forma nerealizovatelná a reflektor by tak byl nevyrobitelný.



Obr. 25 Malý T-dóm (vlevo), velký T-dóm (vpravo).

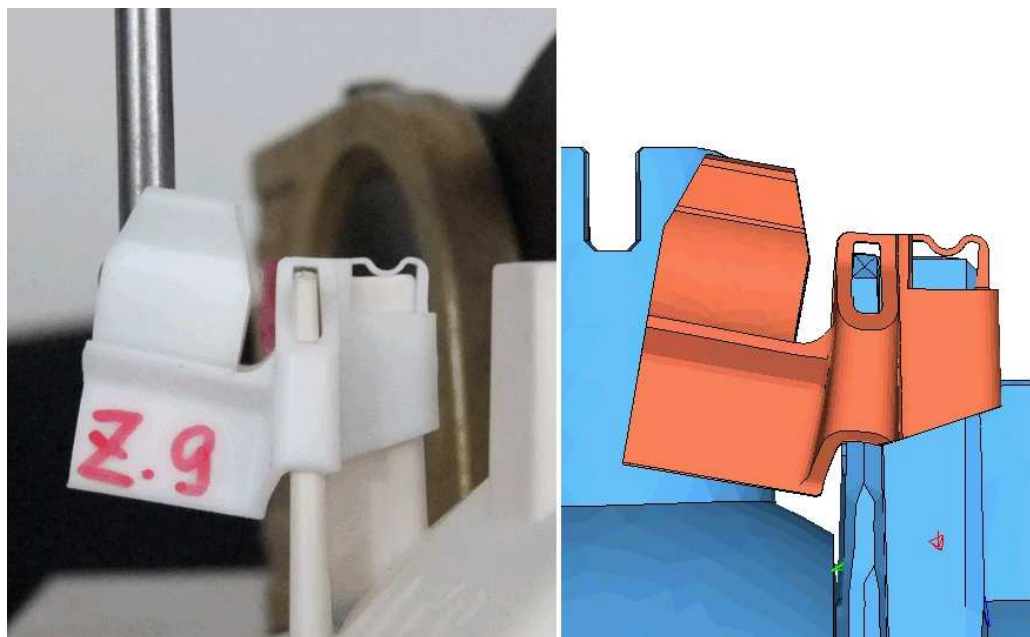
V prvním kroku návrhu třetí varianty byla převzata geometrie pro hlavu hřídele nastavovacího motorku s fixním poloměrem $R=4,95$ mm z první varianty (obr. 16). Oproti předchozím návrhům byla u tohoto návrhu vymezovací žebírka na stykové geometrii pro hlavu hřídele nastavovacího motorku odstraněna, pro ještě větší úsporu zástavbového prostoru. Při návrhu této geometrie bylo přistoupeno ke konstrukci jejího uzavření (obr. 26 – žlutá oblast), což by mělo zvýšit tuhost této geometrie a zabránit možnosti jejímu rozevírání při horizontálním namáhání. Uzavření má dostatečnou vůli s hlavou hřídele nastavovacího motorku a nebrání ve vertikálním pohybu.



Obr. 26 Nastavovací element – varianta 3. Pozice: 1 – uzavření (žlutá oblast), 2 – fixační zácvak (červená oblast), 3 – esovitá pružná geometrie (fialová oblast), 4 – pružný element (světle zelená oblast), 5 – vymežovací žebra (růžová žebra), 6 – pomocné dorazy (tmavě zelená oblast), 7 – geometrie proti otevření (tmavě modrá oblast).

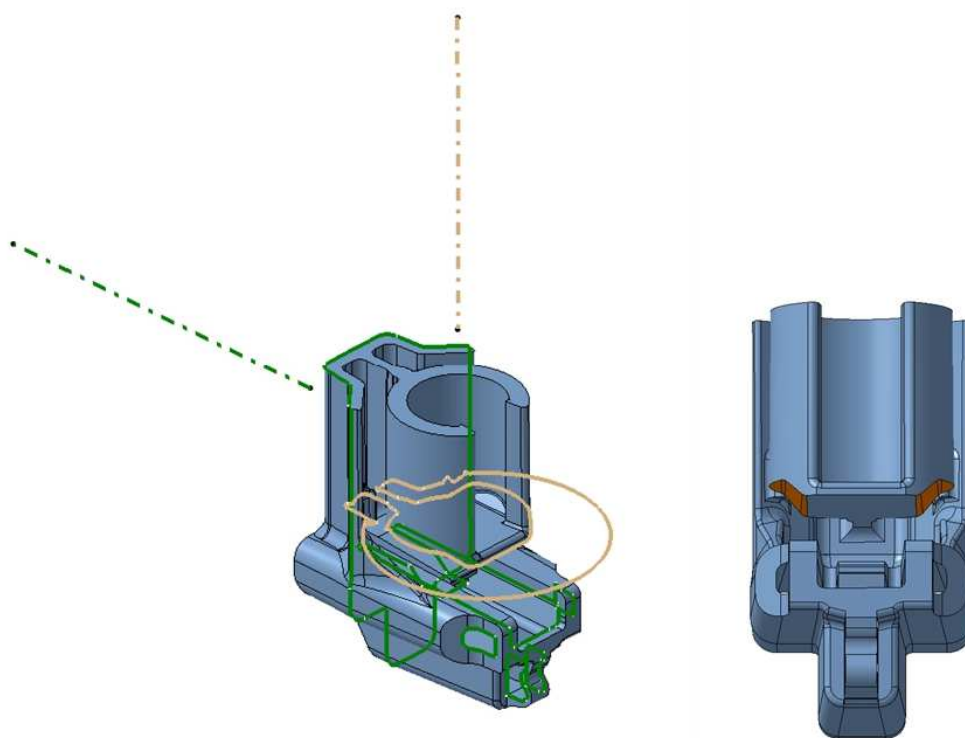
Geometrie fixačního zácvaku (2) byla oproti předchozí variantě prodloužena, zácvak má tak větší pružnost, to vede ke snadnějšímu přetlačení fixačního zácvaku při montáži na malý T-dóm a hladkému zacvaknutí do příslušné geometrie. Esovitá pružná geometrie (3) podléhala dlouhým optimalizacím na základě pevnostních simulací dílu a simulací tečení materiálu. Byl hledán takový tvar geometrie a taková tloušťka stěny, aby při vstřikování docházelo k dotečení geometrie, přitom nedocházelo k prasknutí geometrie po nasazení nastavovacího elementu na malý T-dóm a byla zachována funkčnost této geometrie. Tudiž aby byl vyvozován kontinuální protitlak proti fixačnímu zácvaku

a nemohlo dojít k jeho vyskočení popřípadě změně polohy nastavovacího elementu. Pružný element (4) byl oproti variantě 2 výrazně zkrácen. Pružící rozsah v horizontálním směru byl o něco málo zmenšen, avšak po výsledcích z kinematických simulací byl shledán jako dostatečný. Vymezovací žebra (5) jsou také zmenšena a ve spodní části výrazně vyztužena. Toto vyztužení výrazně zvyšuje tuhost celého dílu. Na vymezovacích žebrech byla navržena geometrie pomocných dorazů (6), které přesně vymezují rozsah pohybu dosedací geometrie a rozsah pružení pružného elementu. Byla navržena z důvodu jejich snadné úpravy v nástroji při potřebě optimalizace rozsahu pružení. Jelikož návrh součástí neprobíhal paralelně a v období konstrukčního návrhu této varianty již byly známy první zkušenosti z testování součástí předchozího návrhu, byla navržena geometrie proti otevření (7) zabráňující rozevírání dílu, při nastavování reflektoru ve světlometu. I přesto, že pohyb ve vertikálním směru je volný a nic mu nebrání, docházelo při reálných zkouškách k vyvození určitého tlaku a při axiálním pohybu hřídele nastavovacího motorku, při kterém hlava hřídele nesmí vyskočit z dosedací geometrie nastavovacího elementu, docházelo vlivem malé tuhosti součásti k jejím nevratným deformacím (Obr. 27). Došlo k poškození dílů, které pak dále nebyly schopny zaručovat správnou funkčnost.



Obr. 27 Rozevírání nastavovacího elementu.

Způsob zaformování třetího konstrukčního návrhu dílu je znázorněn na obr. 28 – vlevo. Geometrie dosedající na malý T-dóm, včetně fixačního zácvaku a zadní strany vymezených žebër jsou formovány v hlavním odformovacím směru – zelený. Dosedací geometrie na hlavu hřídele nastavovacího motorku, pružný element a pomocné dorazy jsou od roviny uzavření dosedací geometrie formovány šoupákem ve vedlejším odformovacím směru – béžový. Kvůli zpevnění dílu pomocí geometrie vymezených žebër, které je nutno formovat v hlavním odformovacím směru, bylo na dosedací geometrii navrženo zkosení (obr. 28 – vpravo, oranžově zvýrazněná oblast). Navržené zkosení nebrání pohybu hlavy hřídele nastavovacího motorku a umožňuje vytažení zpevňující geometrie v hlavním odformovacím směru. Vnitřní rozměr dosedací geometrie na hlavu hřídele nastavovacího motorku (tedy fixní poloměr $R=4,95$ mm) je z důvodu požadované přesnosti rozměru formován ve směru šoupáku s nulovým úkosem. Ostatní plochy formované šoupákem svírají s vedlejším odformovacím směrem úhel $0,5^\circ$. Plochy formované v hlavním směru mají úkosity od 1° do $1,5^\circ$.



Obr. 28 Odformovací směry a dělicí roviny.

2.3 Posouzení vhodnosti konstrukčních návrhů

Každý ze tří provedených konstrukčních návrhů má své výhody a nevýhody. Dle závažnosti, počtu výhod a nevýhod pro druh použití dílu nastavovací element bude stanovena jeho vhodnost. Díl musí být především malý, lehce montovatelný, dostatečně tuhý a zároveň s pružnou geometrií umožňující stranový výkyv při nastavování reflektoru.

2.3.1 Vhodnost použití dílu – varianta 1

Konstrukční návrh – varianta 1 (viz obr. 15).

- Výhody:
 - velký rozsah pružení;
 - jednoduchá fixace – šroubem;
 - dostatečně tuhý díl díky robustní základně;
 - horizontální pohyb volný, geometrie v tomto směru otevřená => jednoduchá montáž reflektoru na nastavovací řadu – možnost navléknutí z obou stran.
- Nevýhody:
 - z navržených variant rozměrově největší;
 - složitější výroba, především kvůli přidržovací geometrii pro šroub;
 - nutnost zřízení pracoviště navíc pro předmontáž skupiny nastavovací element – šroub.

2.3.2 Vhodnost použití dílu – varianta 2

Konstrukční návrh – varianta 2 (viz obr. 20).

- Výhody:
 - rozměrově menší;
 - dobrý rozsah pružení;
 - jednoduchá vyrobitelnost;
 - fixace bez šroubu znamená snížení nákladů;
 - z hlediska montáže jednoduché nacvaknutí na velký T-dóm.

- Nevýhody:
 - nedostatečná tuhost dílu;
 - při montáži možnost navlečení reflektoru na nastavovací řadu pouze v jednom směru => při návrhu konstrukčního celku nutno uvažovat nad způsobem montáže.

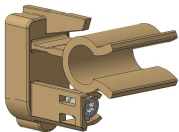

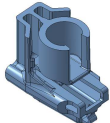
2.3.3 Vhodnost použití dílu – varianta 3

Konstrukční návrh – varianta 3 (viz obr. 24).

- Výhody:
 - rozměrově nejmenší;
 - dostatečný rozsah pružení;
 - dostatečná tuhost dílu;
 - jednoduchá vyrobitelnost;
 - fixace bez šroubu znamená snížení nákladů;
 - z hlediska montáže jednoduché nadvaknutí na malý T-dóm.
- Nevýhody:
 - Při montáži možnost navlečení reflektoru na nastavovací řadu pouze v jednom směru => při návrhu konstrukčního celku nutno uvažovat nad způsobem montáže.

Pro názornost je přiložena tab. 1, kde se nachází vzájemné porovnání některých vlastností všech variant konstrukčního návrhu. Z tabulky je patrné, že nejméně vhodným řešením z konstrukčního hlediska bude varianta 1. I když tento návrh disponuje velkým rozsahem pružení, které je až moc velké a téměř nevyužitelné, má největší rozměry a zabírá nejvíce zástavbového prostoru. Z hlediska konstrukce světloometu je využití zástavbového prostoru jedním z hlavních posuzovaných kritérií. Navíc je tato varianta složitější na výrobu. Méně vhodným návrhem je varianta 2. Tato varianta se vyznačuje příznivějšími rozměry a dostatečným rozsahem pružení, avšak tuhost součásti byla shledána jako nedostatečná. Je nutná optimalizace geometrie, která má však za následek nechtěné zvětšení rozměrů součásti. Z konstrukčního hlediska byla jako nejvýhodnější pro oblast použití shledána varianta 3. Oproti zbylým dvěma návrhům má bezkonkurenčně nejmenší rozměry, dostačující rozsah pružení a vyznačuje se dobrou tuhostí.

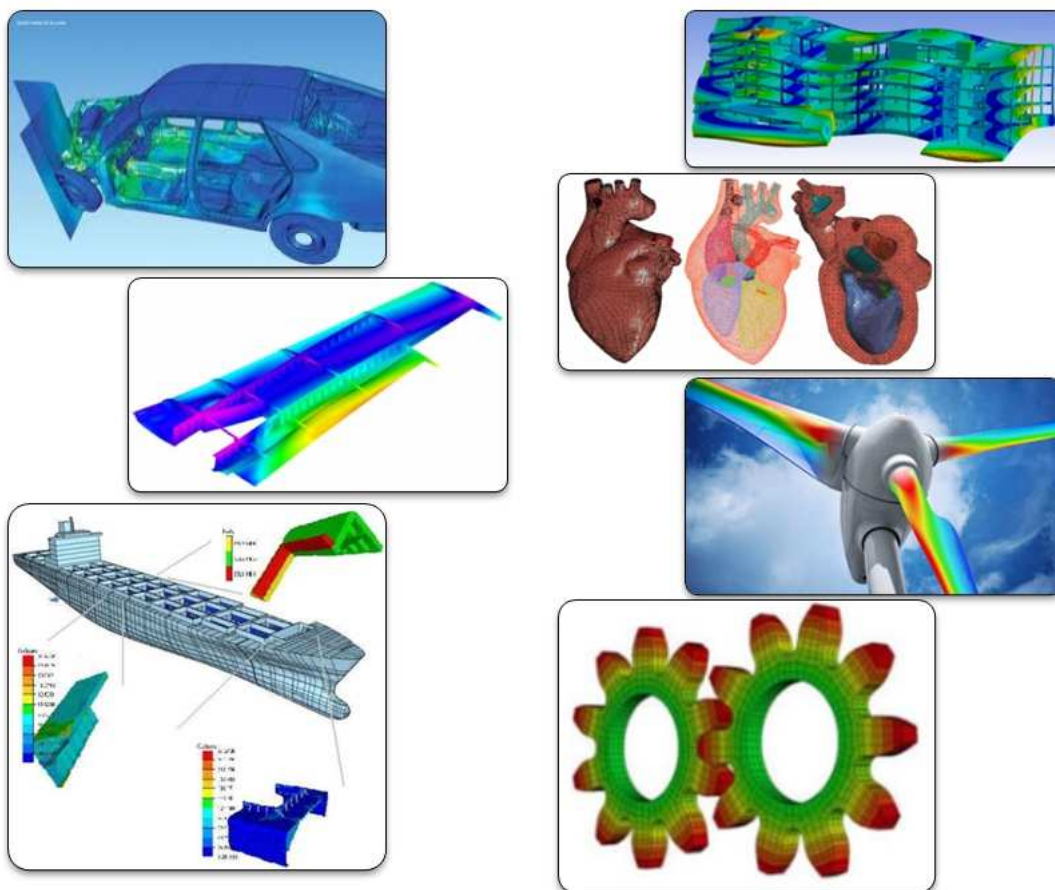
Tab. 1 Porovnání vybraných vlastností napříč navrhovanými variantami řešení.

Varianta návrhu	Rozměry součásti	Rozsah pružení	Tuhost součásti	Vyrobitelnost
Varianta 1 	Největší	Velký	Menší	Složitější
Varianta 2 	Menší	Menší	Nejmenší	Dobrá
Varianta 3 	Nejmenší	Menší	Největší	Dobrá

3 PEVNOSTNÍ SIMULACE

Pro pevnostní výpočty dílu nastavovací element bude použita metoda FEM - finite element method (MKP – metoda konečných prvků). „FEM je numerická metoda pro řešení parciálních diferenciálních rovnic.“[6]

„Hlavním důvodem vzniku FEM byla nemožnost řešení problémů mechaniky (pružnosti) u složitějších těles analytickým způsobem. V 50. letech 20. stol. byla vyvinuta inženýrská metoda FEM (MKP), která umožnila řešit problémy mechaniky i u geometricky komplikovaných těles. Později byla FEM rozšířena pro řešení inženýrských problémů v celé oblasti kontinua, tzn. proudění kapalin, plynů, přenosu tepla, problému elektromagnetických polí atd.“[6] Dnes se metoda FEM uplatňuje v mnoha odvětvích, jako je například automobilový průmysl, letecký průmysl, strojírenství, stavebnictví, lékařská věda, energetika, spotřební průmysl, elektronický průmysl, těžbařský průmysl, stavba lodí, vojenská technika a další.



Obr. 29 Příklady využití FEM. [6]

3.1 Software

Využití FEM v praxi má řadu výhod:

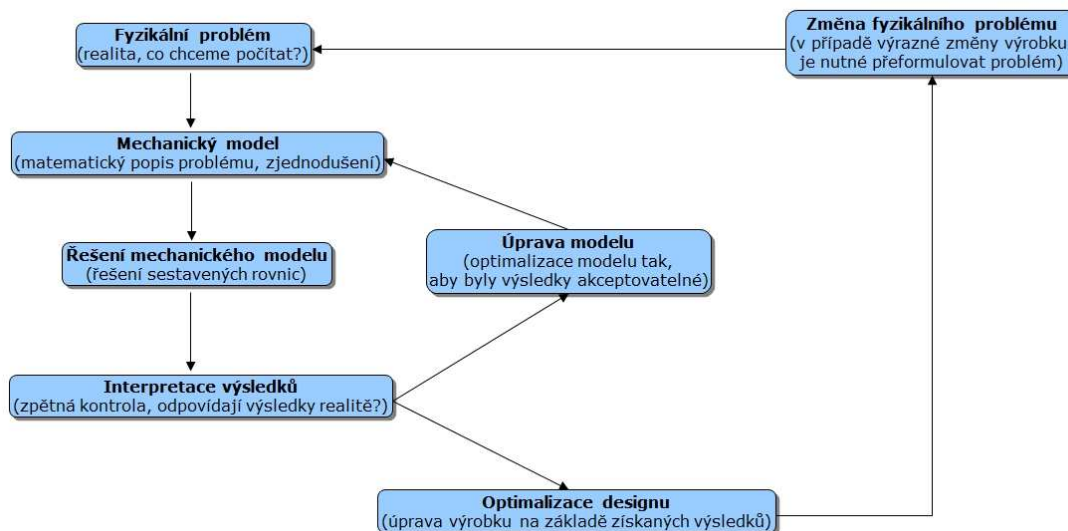
- zkrácení vývojového procesu,
- zlevnění vývojového procesu,
- možnost testování bez nutnosti výroby dílů (virtuální prototypy),
- možnost efektivní optimalizace – rychlé porovnání vícero konstrukčních návrhů,
- úspora materiálu – možnost předcházet předimenzování výrobku,
- včasné odhalení, předcházení, případně náprava vad výrobku.

Nejznámější software pro FEM:

- *Simulia Abaqus* – multidisciplinární FEM software
- *MSC Nastran* - multidisciplinární FEM software
- *Simulia CATIA V5 FEM* – GPS, GAS, EST, ANL, AFC atd.
- *ANSYS* - multidisciplinární FEM software
- *Cosmos DesignSTAR* - multidisciplinární FEM software
- *MSC Marc* – multidisciplinární FEM software
- *Altair Optistruct/Radioss* – optimalizace topologie
- *ANSYS nCode Designlife* – výpočet únavové životnosti

Software využívaný v společnosti Hella [6]:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| • Altair HyperMesh | - příprava modelu |
| • Abaqus | - řešič (výpočet) |
| • Altair HyperView/HyperGraph | - vyhodnocení výsledků |
| • Altair Optistruct | - optimalizace |
| • Simulia CATIA V5 FEM | - zácvaky, resonance, ... |
| • nCode Designlife | - únavová životnost |



Obr. 30 Schéma řešení problému pomocí FEM. [6]

3.1.1 HyperWorks

Software HyperWorks pochází z dílny firmy Altair založené roku 1958 v Michiganu v USA, která se zaměřovala na inženýrské konzultace. V roce 1987 byla firma Altair vybrána firmou General Motors jako dodavatel pro podporu konstrukce předních platform automobilů. Roku 1989 kontaktoval firmu Altair výrobce automobilů značky Ford za účelem vývoje a konstrukce nového systému podvozku pro nákladní automobily série F. Altair jako první americká firma instaloval roku 1992 Cray XMS Mini-Supercomputer. V roce 1997 byla firma Altair vybrána Chryslerem jako klíčový dodavatel podpory jejich programu kompozitních vozidel. Roku 1998 otevřel Altair švédskou pobočku, tím tak vstoupil na evropský trh a v roce 2000 vstoupil na Indický trh otevřením první z několika poboček v Indii. O rok později otevírá pobočku v čínské Shanghai. Od roku 2009 je schopen řešit výpočet simulace čelního nárazu celého vozidla s více než milionem elementů za méně než pět minut.[7]



Obr. 31 Logo Altair. [7]

Dnes najdeme pobočky firmy Altair po celém světě, např. v Austrálii, USA, Mexiku, Kanadě, Brazílii, Německu, Švédsku, Španělsku, Francii, Itálii, Anglii, Číně, Indii a Japonsku.[8]

Altair je vedoucí globální dodavatel technologie, která posiluje klientskou inovaci. Altair posiluje klientské inovace a rozhodovací proces skrz technologii, která optimalizuje analýzu, management a představu o inženýrských informacích. Altair zaměstnává více než 2000 pracovníků ve 48 kancelářích napříč dvaceti státy. S 28-letým působením v oboru pro návrh výrobku, pokročilého inženýrského softwaru, požadovaných výpočetních technik a podnikových analytických řešení, Altair spolehlivě doručuje konkurenceschopnost k více než 5 000 klientům, které představují automobilní průmysl, vesmírné programy, vláda a obrana, těžké vybavení a spotřebitelský průmysl. Altair zaznamenává rostoucí klientelu v elektronice, architektuře, konstrukci a energetice. [9]

HyperWorks je podnikové řešení simulací pro rychlé zkoumání designu a rozhodování. Jako jeden z nejkomplexnějších, otevřená architektura řešení CAE, řešení v průmyslu, zahrnuje modelování, analýzy, vizualizace a řízení dat pro řešení lineární, nelineární, strukturální optimalizaci, strukturovanou interakci tekutin a tzv. multi-body dynamické aplikace. [10]

HyperWorks nabízí mnoho softwarových modulů pro různé oblasti použití:

- Modelování a vizualizace

HyperMesh, HyperView, HyperGraph, HyperCrasch, MotionView, HyperMath, SimLab, Evolve, Inspire.

- Analýzy a optimalizace

RADIOSS, AcuSolve, OptiStruct, HyperStudy, MotionSolve, HyperForm, HyperXtrude, Virtual Wind Tunnel.

HyperMesh byl uvolněn do prodeje roku 1990, jako první program produkt s CAE modelovacím nástrojem. [7] Zkratka CAE znamená Computer Aided Engineering, což se dá do češtiny přeložit jako počítačem řízené inženýrství. Kromě standardních způsobů tvorby 3D sítí nabízí HyperMesh i pokročilejší metody síťování sloužící zejména pro úpravu již stávající sítě. Pro tyto účely HyperMesh disponuje celou paletou editačních nástrojů. Typické situace, kde se těchto nástrojů využívá, jsou: přidání / editace žebër, přidání / odebrání otvoru pro šroub, změna průměru otvoru pro šroub, zjemnění sítě za účelem detailnější analýzy v kritickém místě, a další.

HyperMesh stejně jako HyperCrash a MotionView slouží k sestavování konečněprvkových nebo multibody modelů a jejich přípravě na následující výpočet. Nejrozšířenější HyperCrash je schopen pomocí mnoha uživatelských profilů sestavit tzv. „input deck“ pro většinu využívaných solverů (např. RADIOSS, OptiStruct, MotionSolve, Madymo, PamCrash, Abaqus a další). HyperCrash je univerzální konečněprvkový pre/post procesor pro prostředí modelování bezpečnosti vozidel. Intuitivně vedený proces. Přímá podpora RADIOSS & Dyna. Specifické vlastnosti spojené s bezpečností: umístění figuríny, skládání airbagu, poloha bezpečnostních pásů, hmotová rovnováha, rychlá kontrola průniků, systém swap, mapování výsledků. [11] Roku 1993 byl vyvinut výpočtový program OptiStruct, který následně roku 1994 obdržel ocenění Technologie roku. [7] OptiStruct je průmyslem prověřené, moderní výpočetní zařízení statického výpočtu pro lineární a nelineární strukturální problémy pod statickým a dynamickým zatěžováním. Jako vedoucí program na trhu pro konstrukční řešení a optimalizaci, OptiStruct pomáhá návrhářům a inženýrům analyzovat a optimalizovat struktury pro jejich sílové, trvanlivostní a NVH (noise, vibration and harshness = hluk, chvění a drsnost) charakteristické rysy a rychle vyvinout inovační, lehce proveditelné a strukturálně účinné návrhy. [12]



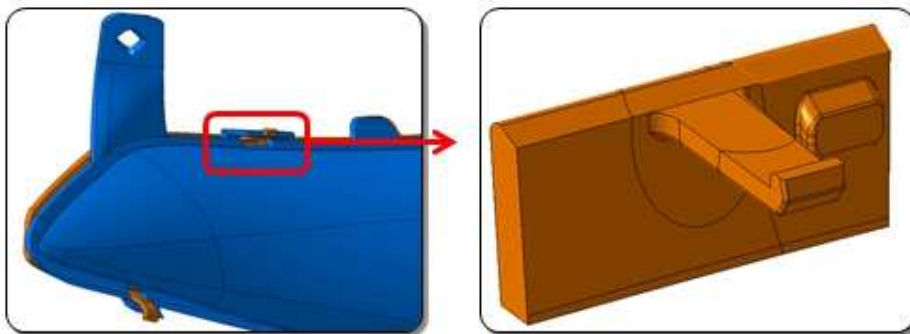
Obr. 32 HyperWorks – přehled modulů a oblasti jejich použití. [11]

3.1.2 Příprava výpočtového modelu

Ve společnosti Hella probíhá příprava výpočtového modelu v programu Altair HyperMesh. Nedůležitější věcí při přípravě výpočtového modelu je zjednodušení dat a to pokud možno co nejvýraznějším způsobem. Zjednodušení dat pomáhá výrazně zkrátit čas přípravy i čas výpočtu. Musíme dbát důležitých pravidel, aby nebyla ohrožena věrohodnost výsledku.

Zjednodušení:

- hranice problému – u simulace funkce detailních částí je uvažování celého produktu neefektivní,



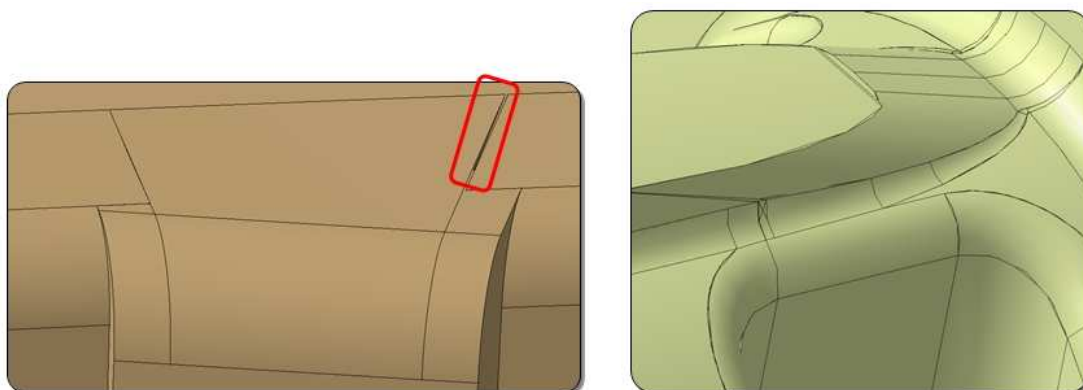
Obr. 33 3D data – zjednodušení 1. [13]

- detaily – odstranění detailů (malá zaoblení, díry, popisky atd.) vede k výrazné úspoře výpočetního času



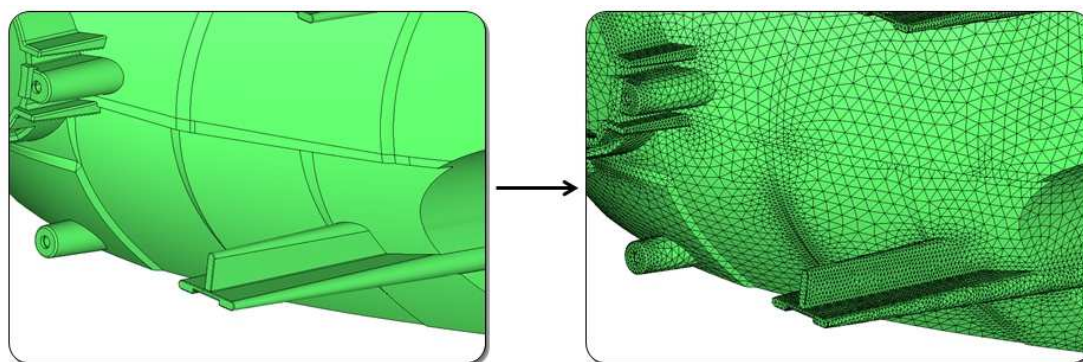
Obr. 34 3D data – zjednodušení 2. [13]

Dalším výrazným faktorem ovlivňujícím délku a náročnost výpočtů je kvalita vstupních CAD dat. Aby vstupní geometrie mohla být označena za kvalitní, nesmí obsahovat nespojitosti, dutiny v materiálu ani duplicitní plochy. Kvalita vstupních CAD dat má výrazný vliv na čas potřebný pro přípravu výpočetního modelu.



Obr. 35 Kvalita vstupních dat. [13]

Jestliže jsou splněny všechny podmínky, uvažuje se potřebná funkční část, model je zjednodušen a vstupní data jsou kvalitní, může se začít s diskretizací neboli tzv. síťováním modelu. Jedná se o nahrazení geometrie výpočetní sítí o konečném počtu prvků. Každý díl v sestavě musí být popsán výpočetní sítí dostatečné kvality. U světlometů, kdy je třeba ověřit simulací celou sestavu a ne jen určité konstrukční prvky, je diskretizace časově velmi náročnou činností. Nutno podotknout, že při simulování celého světlometu se dbá na kvalitu dat, ale nedochází k žádnému zjednodušování geometrií kvůli co nejpřesnějším výsledkům.



Obr. 36 Diskretizace geometrie. [13]

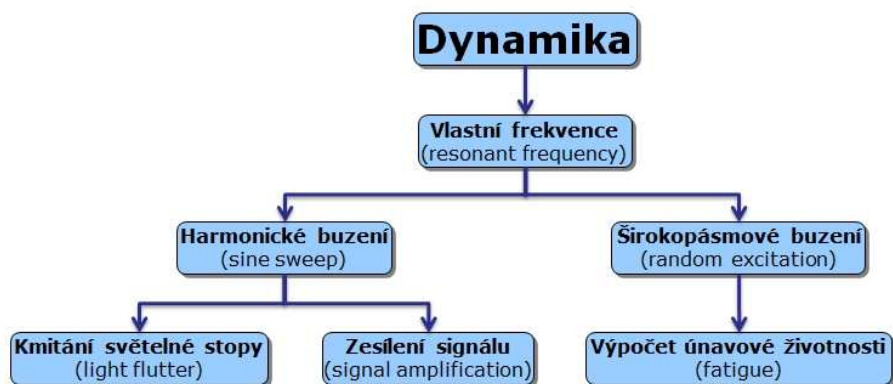
3.1.3 Typy úloh

U světlometů řešíme z pohledu pevnostních výpočtů dva typy úloh:

- Dynamické:
 - setrvačné síly hrají významnou roli,
 - zatížení se v čase výrazně mění,
 - simulace vibračních zkoušek.
- Statické:
 - působení osamocené síly, tlaku, zrychlení ...
 - zatížení se v čase nemění.

3.1.3.1 Dynamické úlohy

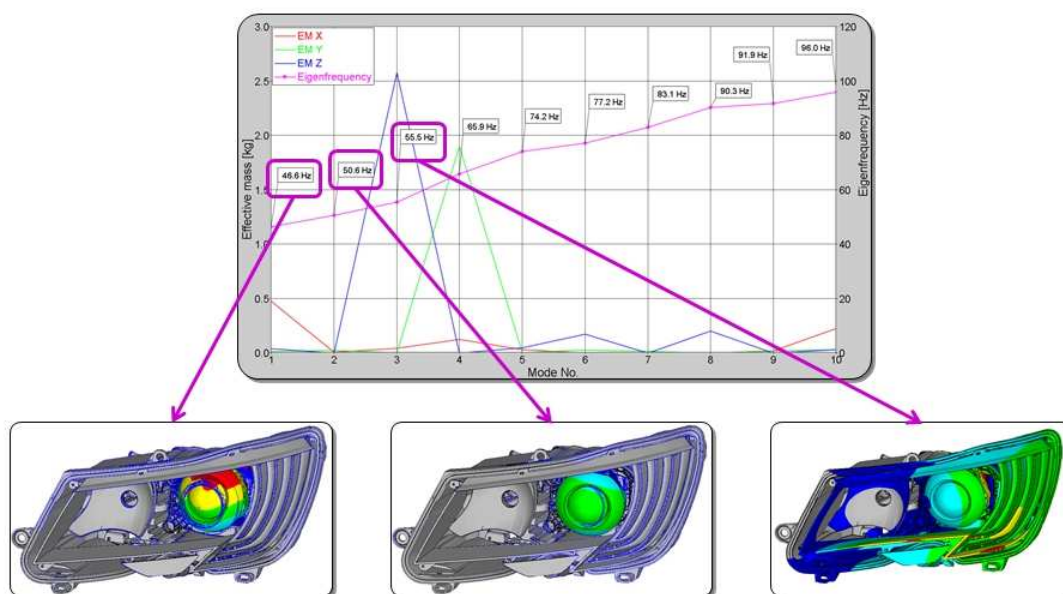
Na obr. 37 je znázorněno schéma řešení dynamických úloh.



Obr. 37 Schéma dynamických úloh. [14]

Vlastní frekvence je snaha systému kmitat při určitých frekvencích více než při jiných. Při buzení na rezonanční frekvenci způsobí i malá zatížení velké amplitudy kmitů. Každý systém má několik rezonančních frekvencí. Pro praxi má význam určení hodnot rezonančních frekvencí, hmotnosti, která se na dané frekvenci podílí a tvaru kmitu na příslušné frekvenci.

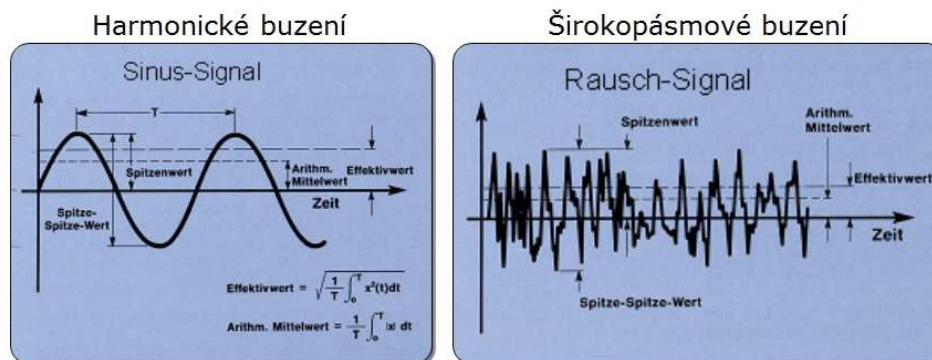
Rezonance je ve fyzice snaha systému kmitat na větší amplitudě více při určitých frekvencích než u ostatních. Tyto frekvence jsou známy jako rezonanční frekvence. Při těchto frekvencích mohou i malé pravidelné síly způsobovat velké amplitudy kmitů, protože systém uchovává energii kmitání. [15] Různé rezonanční frekvence světlometu jsou znázorněny na obr. 38. Je možné pozorovat, že různé rezonanční frekvence mají různý vliv na různé díly světlometu v odlišných místech a různých amplitudách.



Obr. 38 Rezonanční frekvence světlometu. [6]

Kmitání je buzeno nějakou vstupní energií. Zde se rozlišují pojmy: harmonické buzení a širokopásmové buzení.

- Harmonické buzení je buzení sinusovým signálem, který má definovanou frekvenci a amplitudu (nejčastěji zrychlení).
- Širokopásmové buzení je pro praktické účely náhodný signál, který se aproximuje tzv. výkonovou spektrální hustotou (PSD), která popisuje výkon náhodného signálu ve frekvenčním spektru. Tyto definice obsahují zákaznické specifikace a vycházejí přímo z měření na vozidlech.

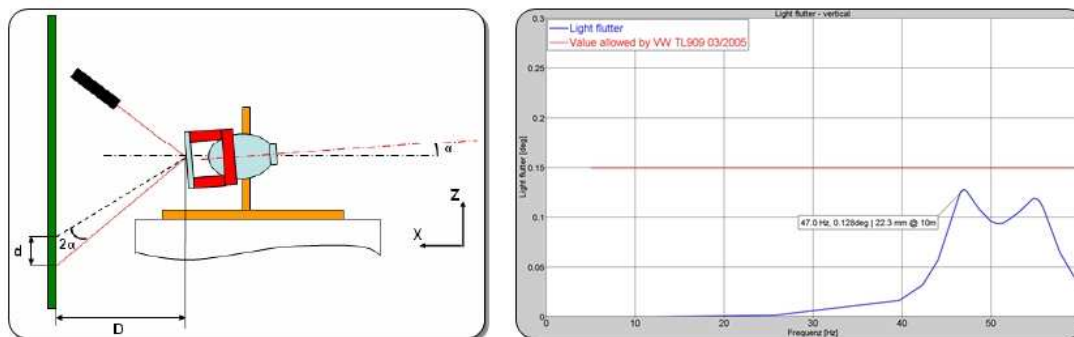


Obr. 39 Harmonické a širokopásmové buzení. [14]

Kmitání světelné stopy:

- během jízdy je důležité, aby při přejezdu nerovností vozidlo neoslňovalo řidiče protijedoucích vozidel,
- u potkávacích funkcí světlometu zákaznické normy specifikují přípustné hodnoty rozkmitu světelné stopy při dynamickém zatížení (vibraci).

Požadavek na kmitání světelné stopy: rozšíření hranice světla a tmy (světelný pás) maximálně $\pm 0,15^\circ$ ($\pm 2,6$ cm na 10 m vzdálenost). [18]



Obr. 40 Kmitání světelné stopy.

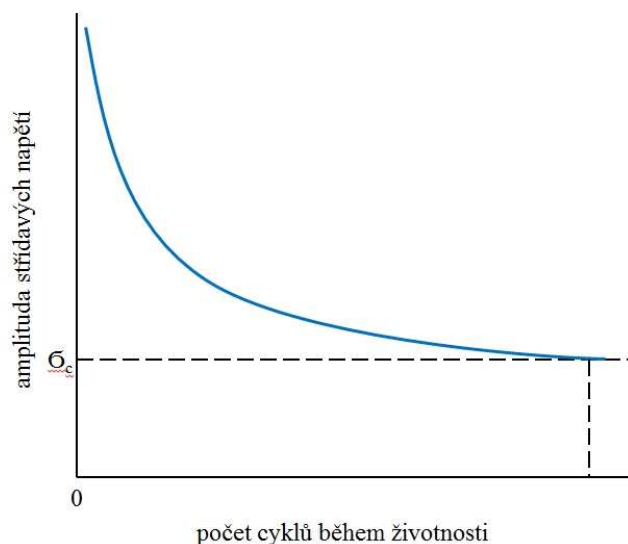
Zesílení vstupního signálu:

- systém reaguje na vibraci odezvou, která je závislá na spektrální charakteristice (rozdělení rezonančních frekvencí),
- zesílením signálu rozumíme poměr mezi odezvou (zrychlení v určitém bodě) a vstupním signálem (zrychlení),

- při návrhu vibračních držáků je důležité, aby v uchycovacích bodech světlometu zesílení signálu nepřekračovalo povolené hranice stanovené interní Hella normou (MTZ-019).

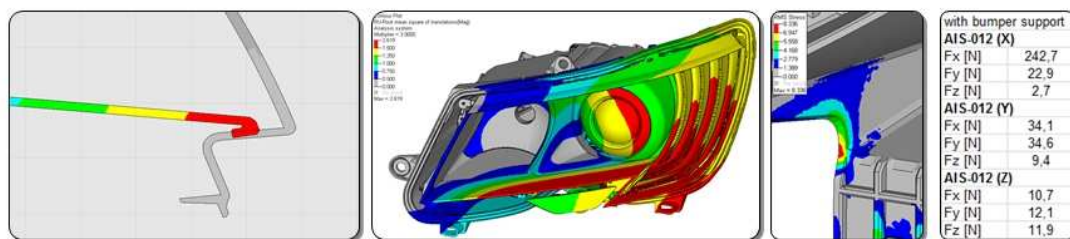
Únavová životnost:

- pro určitý napěťový stav je pro dynamické namáhání možné počítat únavovou životnost,
- využití Wöhlerových křivek (S-N diagramů), které popisují únosný počet zátěžových cyklů pro různé amplitudy napětí.



Obr. 41 Wöhlerova křivka únavy. [16]

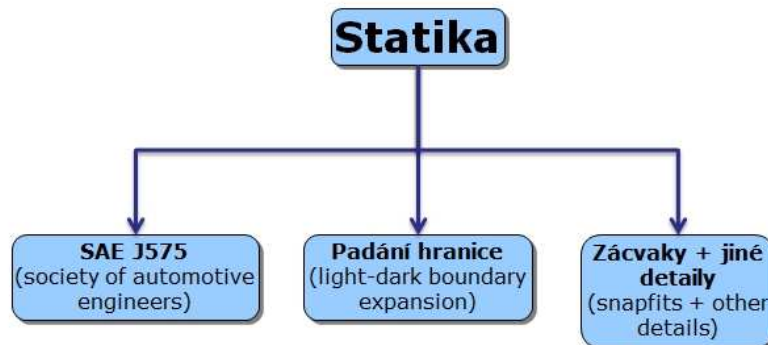
Nejčastěji vyhodnocované výsledky u dynamických úloh jsou deformace dílů, kolize mezi díly, napjatost, únavová životnost, zrychlení v určitých bodech systému a reakční síly v nastavovacím systému.



Obr. 42 Výsledky dynamických úloh. [14]

3.1.3.2 Statické úlohy

Na obr. 43 je znázorněno schéma řešení statických úloh.

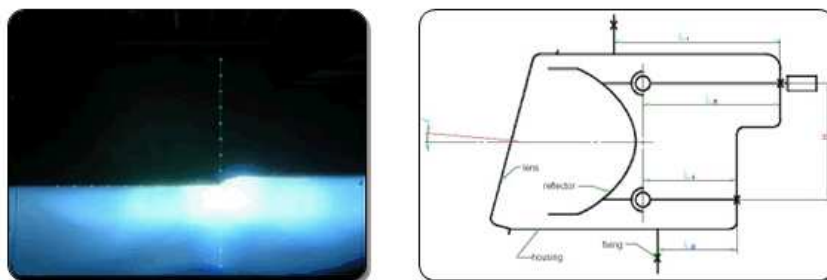


Obr. 43 Schéma statických úloh. [14]

U statických úloh se řeší především simulace vibrační zkoušky pro americký trh (SAE J575), která je sice dynamickou zkouškou ale pro účely simulace může být nahrazena statickým zařízením.

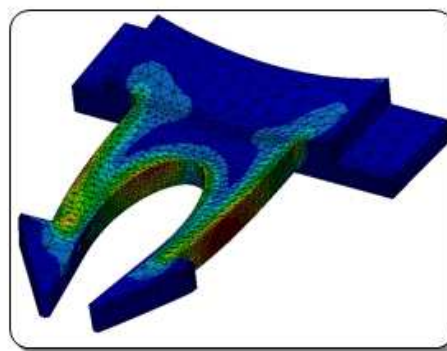
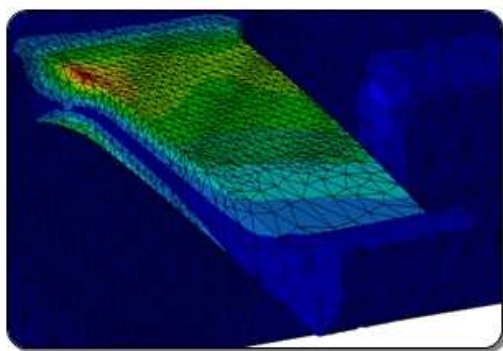
Statické úlohy dále řeší simulace padání hranice světlo – tma, které je způsobeno mnoha faktory:

- vlivem teplotních zatížení (teplo z okolí, teplo generované světelnými funkcemi uvnitř světlometu) dochází k posunu (zdvihu nebo padání) hranice světlo-tma,
- teplotní roztažnost způsobuje deformace dílů,
- silný vliv orientace vláken u plněných materiálů,
- uvolnění zamrzlých napětí vzniklých při vstřikování dílů,
- nastavení výšky této hranice se může účinkem teploty nevratně změnit,
- zákaznické normy určují přípustné hodnoty,



Obr. 44 Padání hranice světlo - tma.

Dalším řešením statických úloh je simulace zácvaků a jiných detailů nebo konstrukčních prvků. Kdy při procesu spojování dílů dochází u zacvakávacích elementů k relativně vysokým deformacím. Při simulování zácvaků je velmi důležité najít kompromis mezi silou potřebnou k zacvaknutí (ne příliš vysoká – námaha při montáži, ne příliš nízká – spojení musí být dostatečně pevné) a přípustnými napětími pro daný materiál (zácvak se nesmí ulomit).



Obr. 45 Simulace zácvaků. [17]

Samozřejmostí jsou optimalizační smyčky, které následují po prvních výsledcích známých z pevnostních simulací. Počet smyček většinou závisí na tom, jak dobře je díl navržený a na tom kolik času zbývá do začátku výroby nástrojů, do prvních výpadových kusů nebo do oficiálního představení automobilu a startu sériové produkce. Nutno dodat, že optimalizace kvůli neustálému zkracování termínů a stále větší složitosti světlometů často probíhá až do poslední možné chvíle. A někdy ani to nestačí. Všeobecně se snažíme optimalizacemi, z hlediska pevnostních simulací snížit hmotnost, zvýšit tuhost a najít optimální rozložení materiálu v definovaném objemu.

3.2 Výsledky pevnostních simulací

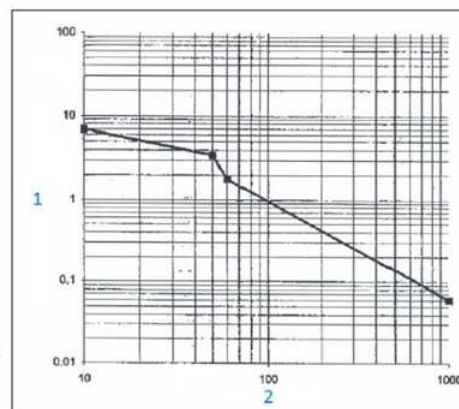
Byly simulovány všechny tři konstrukční návrhy. Příprava modelu pro výpočet proběhla v programu HyperMesh, vlastní výpočet byl proveden řešičem Abaqus a vyhodnocení výsledků bylo provedeno v programech HyperView a HyperGraf. Optimalizace byly prováděny přímo na 3D CAD datech v softwaru Catia V5. Samotná geometrie zácvaku byla simulována programem Simulia CATIA V5 FEM.

Pevnostní simulace konstrukčních návrhů byly nejdříve řešeny pro samostatný díl. Byla vyhodnocována tuhost dílu, rozsah pohybu pružné geometrie, funkčnost zácvaku při montáži a oblasti kritického napětí na díle. Dále byla pevnost dílu simulována z hlediska celého světloometu. Byl vybrán pilotní projekt, do jehož sestavy byly konstrukční návrhy postupně zakomponovány. U těchto simulací byl kladen zřetel na ovlivnění celkové tuhosti konstrukčního celku reflektor – nastavovací řada. Vybrání stejného pilotního projektu pro všechny konstrukční návrhy zaručuje stejné podmínky simulací pro všechny varianty návrhu řešení dílu nastavovací element. Hodnotilo se především rozšíření (kmitání) světelné stopy, buzení reflektoru, reakční síly v nastavovacím systému a rezonanční frekvence celého světloometu.

Pevnostní simulace jsou prováděny podle požadavků zákazníka. V našem případě byly simulace prováděny dle specifikací uvedených v zákaznické normě VW TL 909. Vyhodnocují tyto případy zatížení:

- výpočet rezonanční frekvence,
- výpočet frekvenční charakteristiky, harmonické (sinusové) buzení v ose Z (0.5g, 5Hz – 60Hz),
- širokopásmové buzení podle normy VW TL 909 (bod 4.14); mezní hodnoty hustoty výkonu zrychlení pro dané frekvence jsou na obr. 46.

Frekvence v Hz	Hustota výkonu zrychlení $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$
10	7
50	3,5
60	1,75
1000	0,06
Efektivní hodnota zrychlení = $20,9 \text{ m/s}^2$	

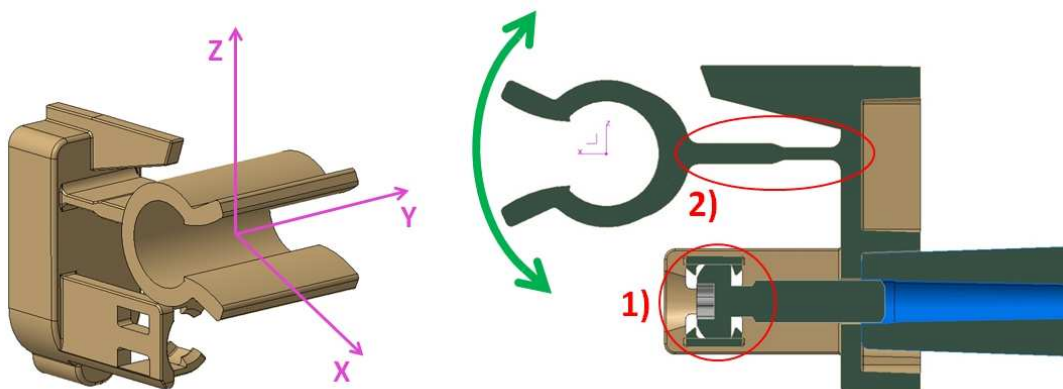


Obr. 46 Mezní hodnoty pro širokopásmové buzení. [18]

3.2.1 Výsledky FEM – konstrukční návrh – varianta 1

U této varianty nebyla hodnocena geometrie fixačního zácvaku, fixace k dómu je zde realizována pomocí šroubu (viz obr. 15). U konstrukční varianty číslo 1 byly simulovány a porovnány tři různé materiály: POM Delrin 127, PBT Ultradur B 4200 a PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Pro tyto tři materiály byly sledovány dvě pružné oblasti dílu (obr. 47):

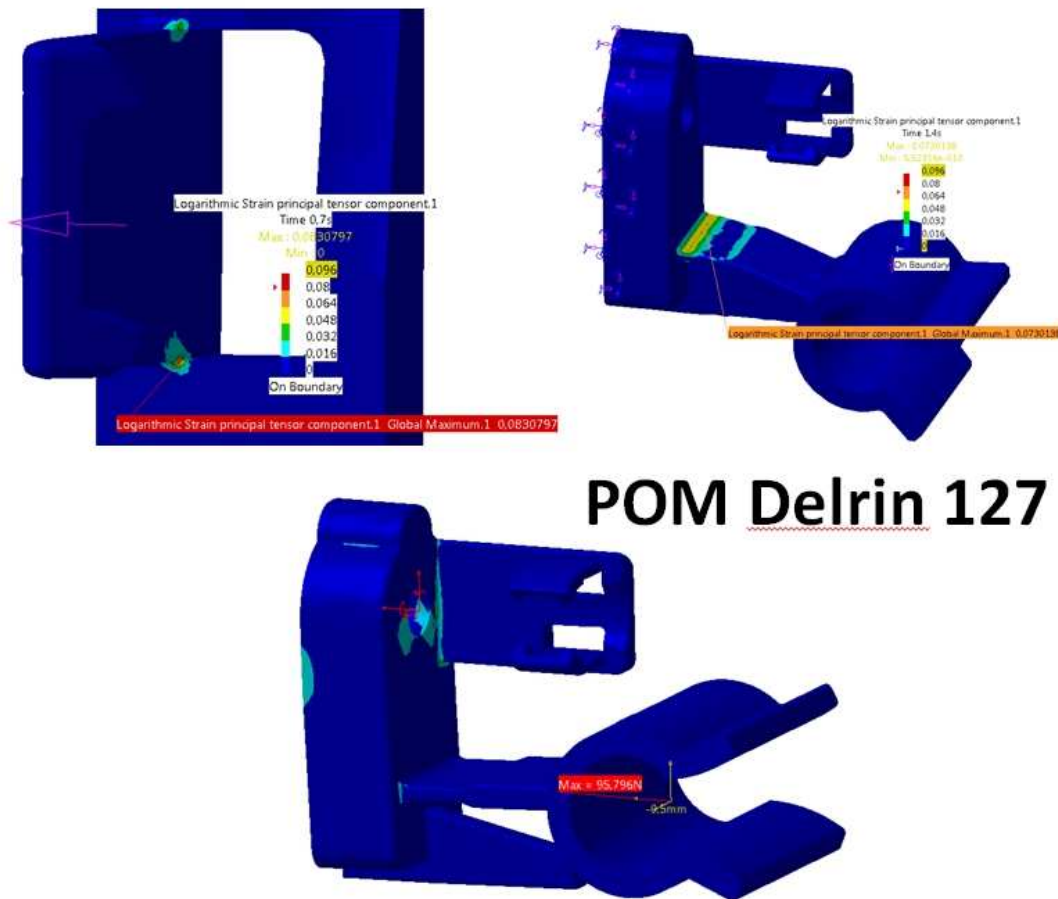
- 1) **Pružný element 1:** přidržovací geometrie pro šroub.
- 2) **Pružný element 2:** pružný element pro umožnění pohybu ve směru osy Z.



Obr. 47 Varinata 1 – sledované oblasti dílu.

Nastavovací element je zatěžován posunem hlavy hřídele nastavovacího motorku o 0,5 mm ve směru osy X. Výsledná reakce potom vyjadřuje tuhost dílu, je udávána v newtonech. Pro jednotlivé materiály za kontroly pružných oblastí dílu vyšly následující tuhosti:

- Materiál POM Delrin 127:
 - Pružný element 1 – na přidržovací geometrii pro šroub je nutné přepnutí o velikosti 1,8 mm při šroubení do reflektoru. Nehrozí porušení geometrie.
 - Pružný element 2 – nehrozí porušení geometrie pružného elementu pro maximální vyklonění 5,5 mm ve směru osy Z.
 - Celková tuhost dílu je 9,5 N.

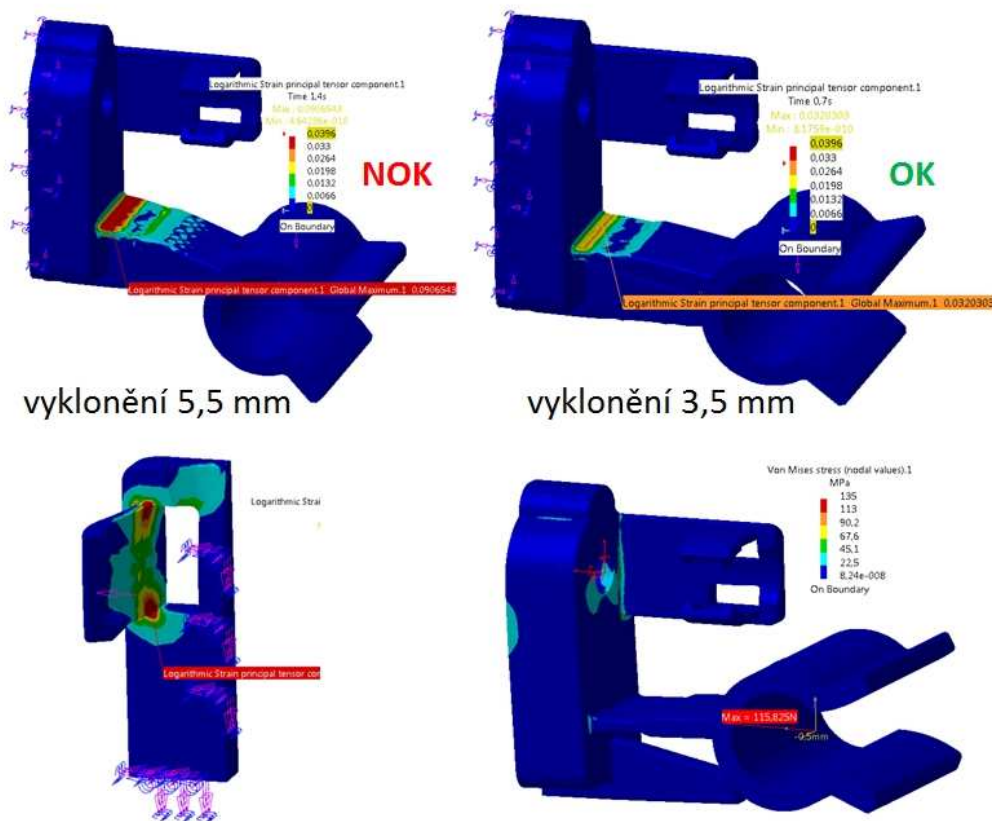


Obr 48. Konstrukční návrh – varianta 1: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál POM Delrin 127.

- Materiál PBT Ultradur B 4200:

- Pružný element 1 – na přidržovací geometrii pro šroub je nutné přepružení o velikosti 1,8 mm při šroubení do reflektoru. Hrozí porušení geometrie. Nutno optimalizovat geometrii.
- Pružný element 2 – hrozí porušení geometrie pružného elementu pro vyklonění 5,5 mm ve směru osy Z. Nutno optimalizovat vymežovací geometrii na maximální přípustnou hodnotu vyklonění 3,5 mm.
- Celková tuhost dílu je 11,5 N.

PBT Ultradur B 4200

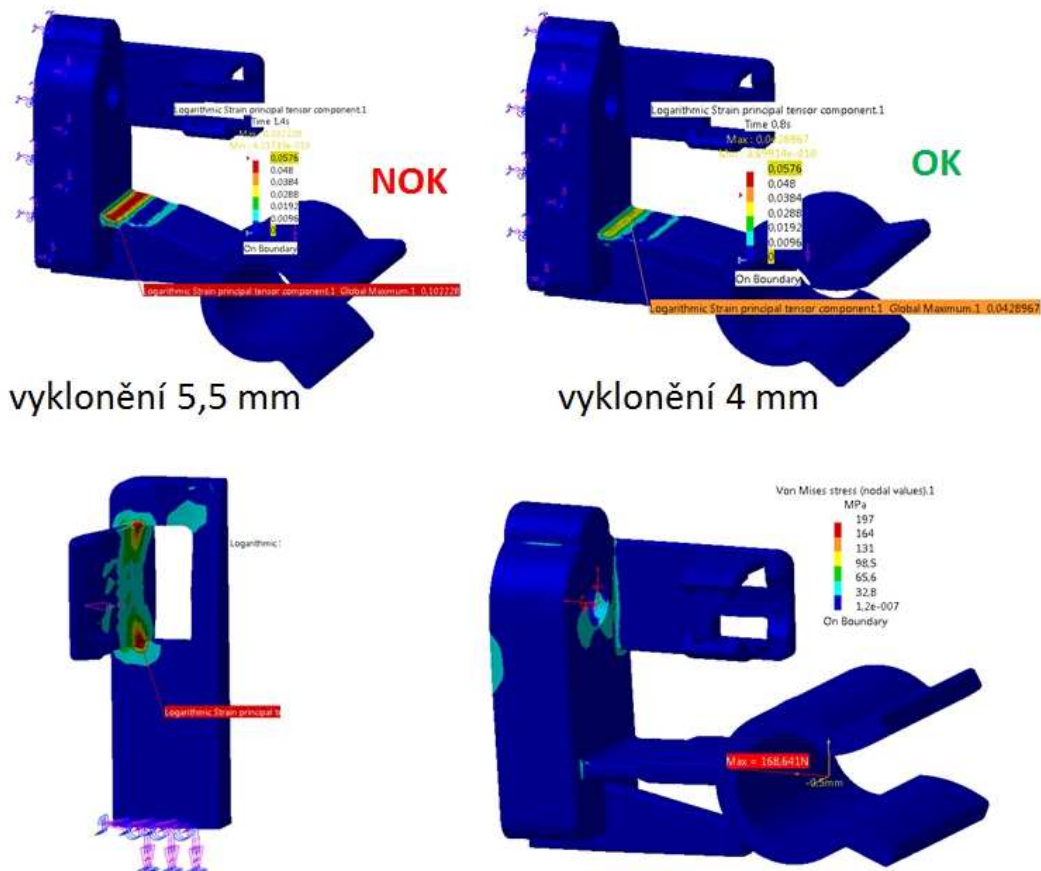


Obr. 49 Konstrukční návrh – varianta 1: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál PBT Ultradur B 4200.

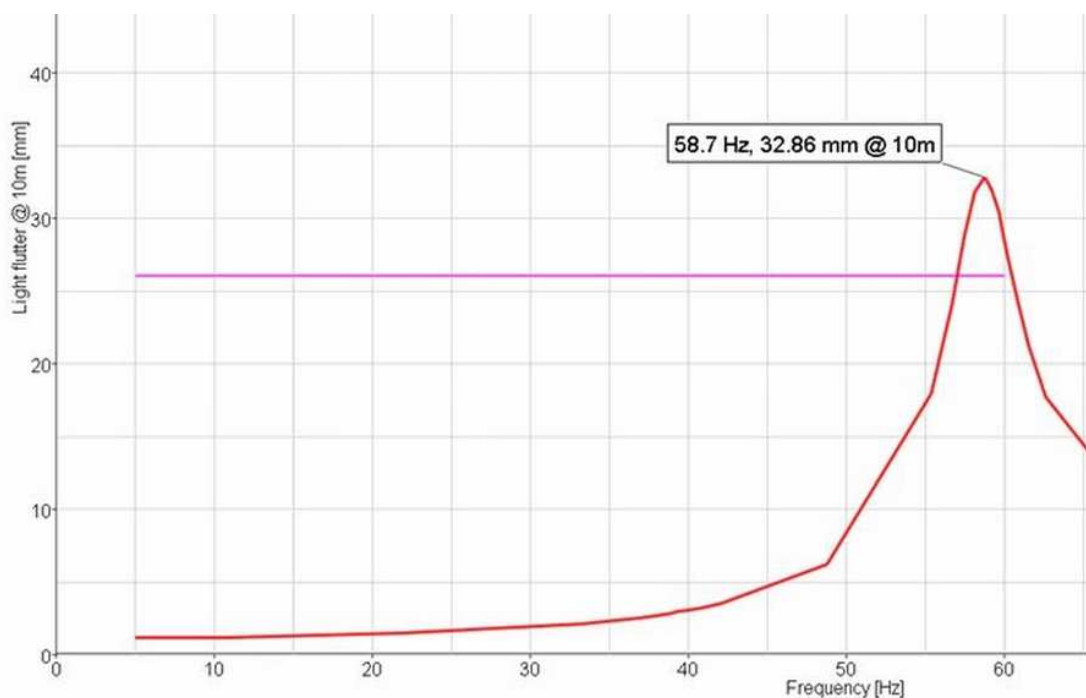
- Materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2:

- Pružný element 1 – na přidržovací geometrii pro šroub je nutné přepnutí o velikosti 1,8 mm při šroubení do reflektoru. Hrozí porušení geometrie. Nutno optimalizovat geometrii.
- Pružný element 2 – hrozí porušení geometrie pružného elementu pro vyklonění 5,5 mm ve směru osy Z. Nutno optimalizovat vymezovací geometrii na maximální přípustnou hodnotu vyklonění 4 mm.
- Celková tuhost dílu je 16,8 N.

PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2



Obr. 50 Konstrukční návrh – varianta 1: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2.

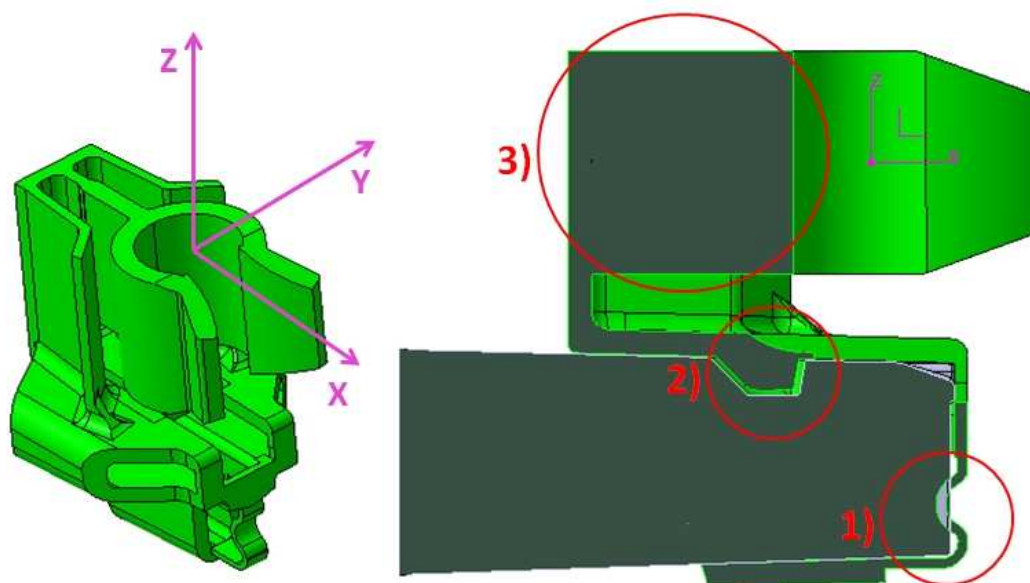


Obr. 51 Konstrukční návrh – varianta 1: znázornění kmitání světelné stopy a rezonančních frekvencí.

3.2.2 Výsledky FEM – konstrukční návrh – varianta 2

Jde o variantu s nacvakávacím způsobem fixace k tzv. velkému T-dómu (viz obr. 20). U konstrukční varianty číslo 2 byly simulovány a porovnány tři různé materiály: POM Delrin 127, PBT Ultradur B 4200 a PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Pro tyto tři materiály byly sledovány tři pružné oblasti dílu (obr. 52):

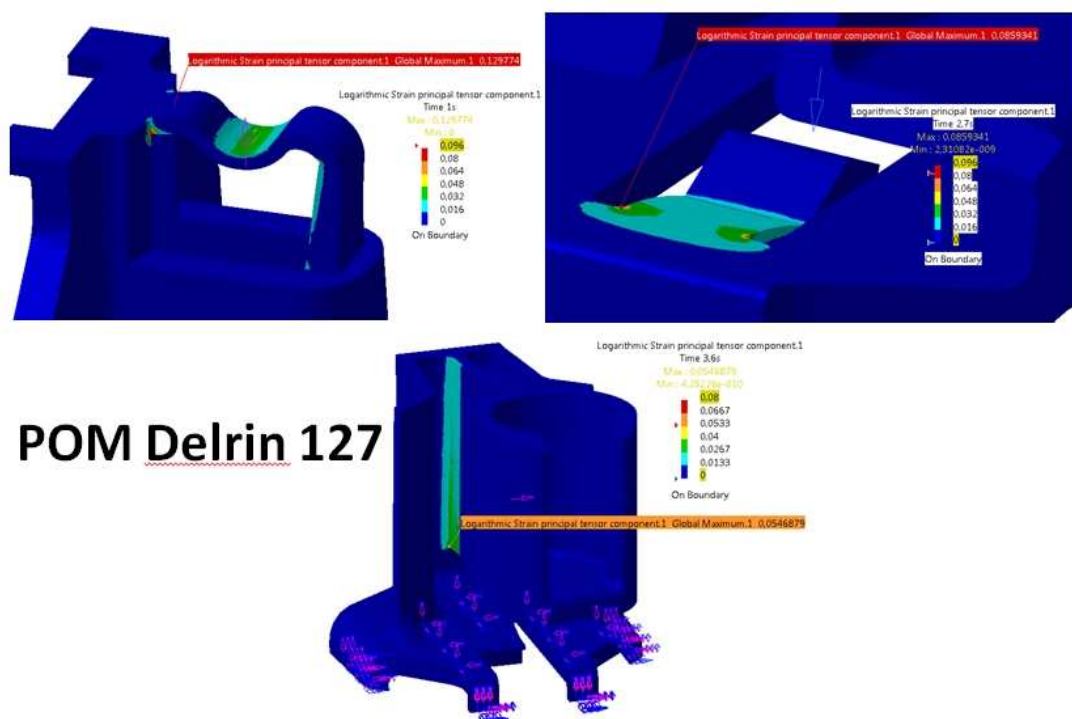
- 3) **Pružný element 1:** esovitá pružná geometrie pro napínací sílu k velkému T-dómu v ose X.
- 4) **Pružný element 2:** geometrie fixačního závaku – zavazbení k geometrii velkého T-dómu ve směru osy X.
- 5) **Pružný element 3:** pružný element pro umožnění pohybu ve směru osy Y.



Obr. 52 Konstrukční návrh – varianta 2: znázornění os a vertikální řez středem dílu.

Nastavovací element je zatěžován posunem hlavy hřídele nastavovacího motorku o 0,5 mm ve směru osy X. Výsledná reakce potom vyjadřuje tuhost dílu je udávána v newtonech. Pro jednotlivé materiály (za kontroly pružných oblastí dílu) vyšly následující tuhosti:

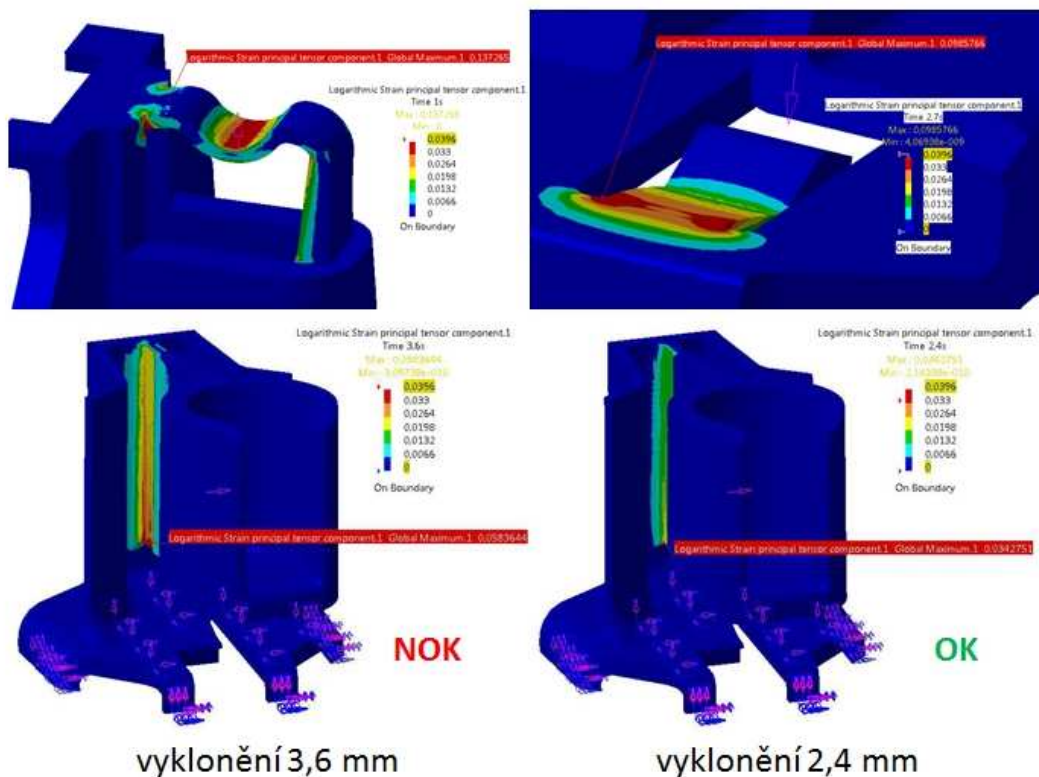
- Materiál POM Delrin 127:
 - Pružný element 1 – nehrozí porušení geometrie, s časem hrozí pokles napínací síly.
 - Pružný element 2 – nehrozí porušení geometrie fixačního zácvaku.
 - Pružný element 3 – nehrozí porušení geometrie pružného elementu pro maximální vyklonění 3,6 mm ve směru osy Y.
 - Celková tuhost dílu je 8,9 N.



Obr. 53 Konstrukční návrh – varianta 2: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál POM Derlin 127.

- Materiál PBT Ultradur B 4200:
 - Pružný element 1 – hrozí porušení geometrie, s časem hrozí pokles napídací síly.
 - Pružný element 2 – hrozí porušení geometrie fixačního závaku.
 - Pružný element 3 – hrozí porušení geometrie pružného elementu pro vyklonění 3,6 mm ve směru osy Y. Nutno optimalizovat vymežovací žebra na maximální přípustnou hodnotu vyklonění 2,4 mm.
- Celková tuhost dílu je 10,8 N.

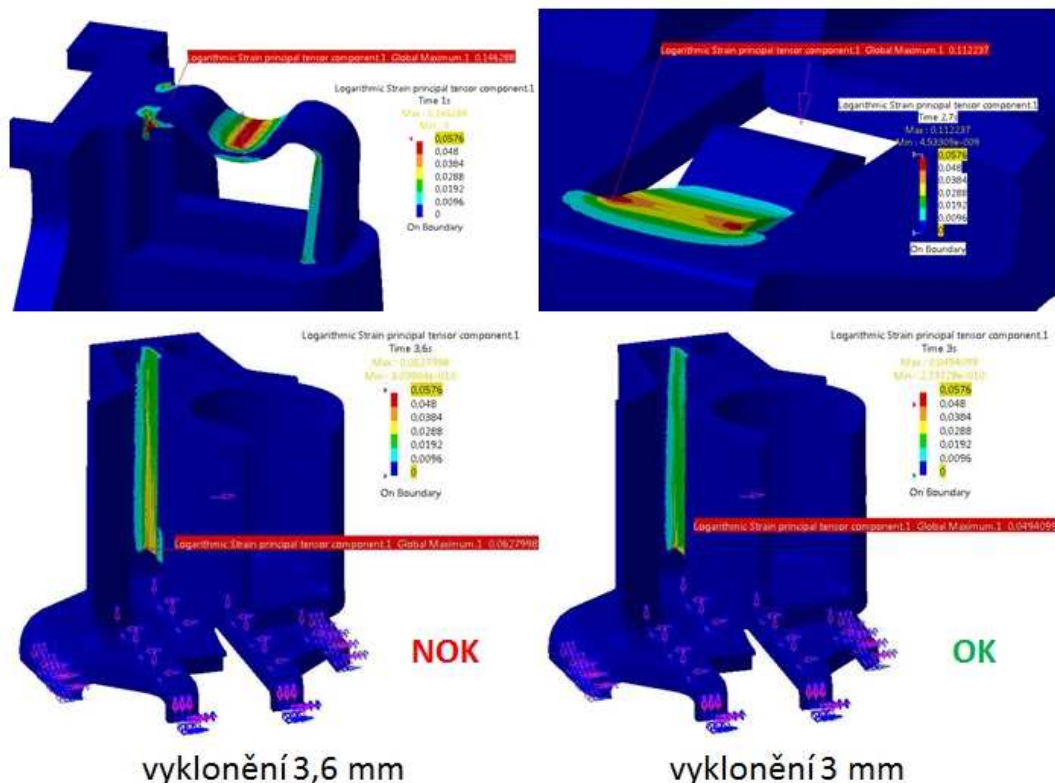
PBT Ultradur B 4200



Obr. 54 Konstrukční návrh – varianta 2: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál PBT Ultradur B 4200.

- Materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2:
 - Pružný element 1 – hrozí porušení geometrie, s časem hrozí pokles napínací síly.
 - Pružný element 2 – hrozí porušení geometrie fixačního záviku, (menší riziko než u materiálu PBT Ultradur B 4200).
 - Pružný element 3 – hrozí porušení geometrie pružného elementu pro vyklonění 3,6 mm ve směru osy Y. Nutno optimalizovat vymezovací žebra na maximální přípustnou hodnotu vyklonění 3 mm.
- Celková tuhost dílu je 15,7 N

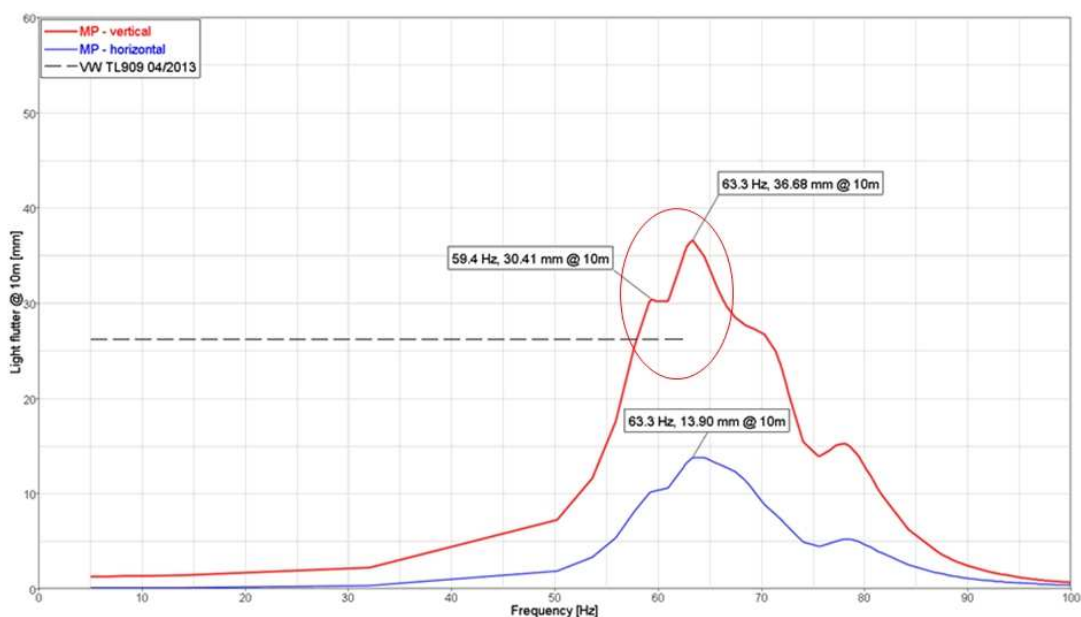
PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2



Obr. 55 Konstrukční návrh – varianta 2: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2.

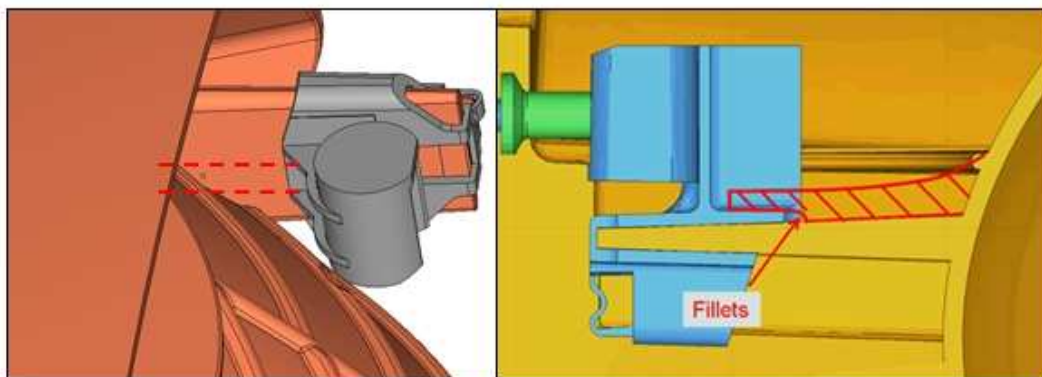
Z hlediska nejvyšší tuhosti dílu v porovnání s relativně velkou hodnotou možného vyklonění v ose Y, byl pro další zpracování pevnostních simulací vybrán materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Esovitá pružná geometrie pro napínací sílu k velkému T-dómu v ose X, geometrie fixačního závaku a vymežovací žebra pro pružný element, který umožňuje pohyb ve směru osy Y, byly optimalizovány. Vymežovací žebra byla upravena na hodnotu maximálního vyklonění 3mm v ose Y. Díl byl znovu přesimulován a výsledky překontrolovány.

Následně byl díl zakomponován do sestavy pilotního projektu a byla spuštěna simulace celého světlometu. Výsledky pevnostní simulace celého světlometu ukázaly, že rozšíření světelné stopy je příliš vysoké a rezonanční frekvence leží v nepřípustné oblasti (na obr. 56 protínají přerušovanou čáru). Navíc se potkávají dvě rezonanční frekvence blízko sebe, což je hodnoceno jako velmi nebezpečné. V reálných zkouškách by se mohlo stát, že tyto dvě frekvence budou totožné a sečtou se. Tato skutečnost by mohla vést k poškození dílů světlometu a nesplnění požadovaných světelných hodnot.



Obr. 56 Konstrukční návrh – varianta 2: znázornění kmitání světelné stopy a rezonančních frekvencí.

Pro zlepšení tuhosti celého světlometu bylo doporučeno upravit geometrii velkého T-dómu, na který je nastavovací element upevněn, přidáním přídržovacích žebër (obr. 57), aby nedocházelo k rozevírání (viz obr. 27) dílu při jeho namáhání a zlepšila se tak tuhost konstrukčního celku reflektor – nastavovací řada. To by mohlo mít příznivý vliv na rozkmit světelné stopy a hodnotu rezonančních frekvencí světlometu. Bohužel přidání přídržovacích žebër není z hlediska vyrobiteľnosti geometrie T-dómu možné.

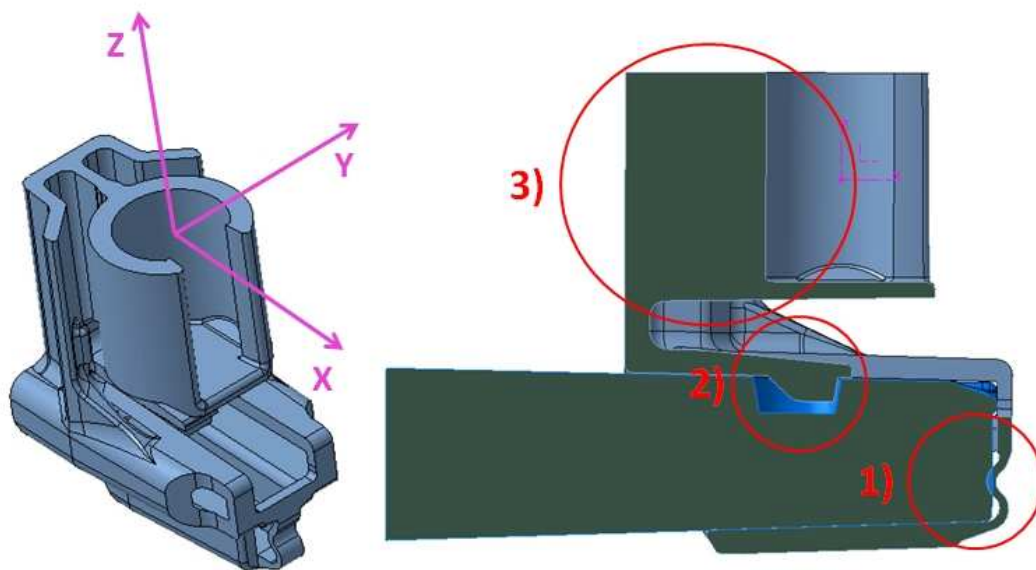


Obr. 57 Konstrukční návrh – varianta 2: návrh přídržovacích žebër.

3.2.3 Výsledky FEM – konstrukční návrh – varianta 3

Jelikož varianta 3 byla vyhodnocena za konstrukčně nejvýhodnější, byla simulacím této varianty věnována větší pozornost. Jde o variantu s nacvakávacím způsobem fixace k tzv. malému T-dómu (viz obr. 24). Z hlediska výsledků pevnostních výpočtů u předchozí varianty řešení a z hlediska značné podobnosti geometrie je u této varianty řešení uvažován pouze materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Pro tento materiál byly sledovány tři pružné oblasti dílu (obr. 58):

- 1) **Pružný element 1:** esovitá pružná geometrie pro napínací sílu k malému T-dómu v ose X.
- 2) **Pružný element 2:** geometrie fixačního závaku – zavazbení k geometrii velkého T-dómu ve směru osy X.
- 3) **Pružný element 3:** pružný element pro umožnění pohybu ve směru osy Y.

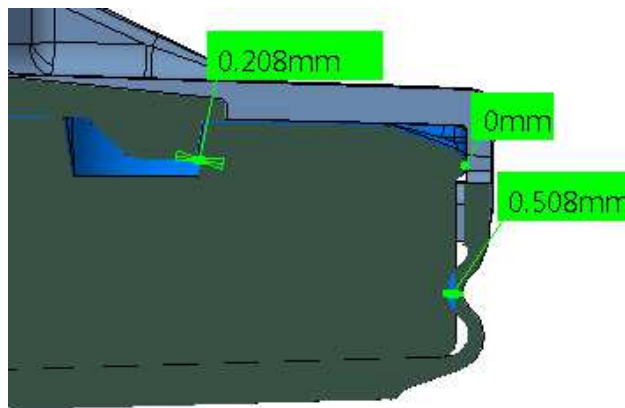


Obr. 58 Konstrukční návrh – varianta 3: znázornění os a vertikální řez středem dílu.

Nastavovací element je zatěžován posunem hlavy hřídele nastavovacího motorku o 0,5 mm ve směru osy X. Výsledná reakce potom vyjadřuje tuhost dílu, je udávána v newtonech. Pro zvolený materiál (za kontroly pružných oblastí dílu) vyšla následující tuhost:

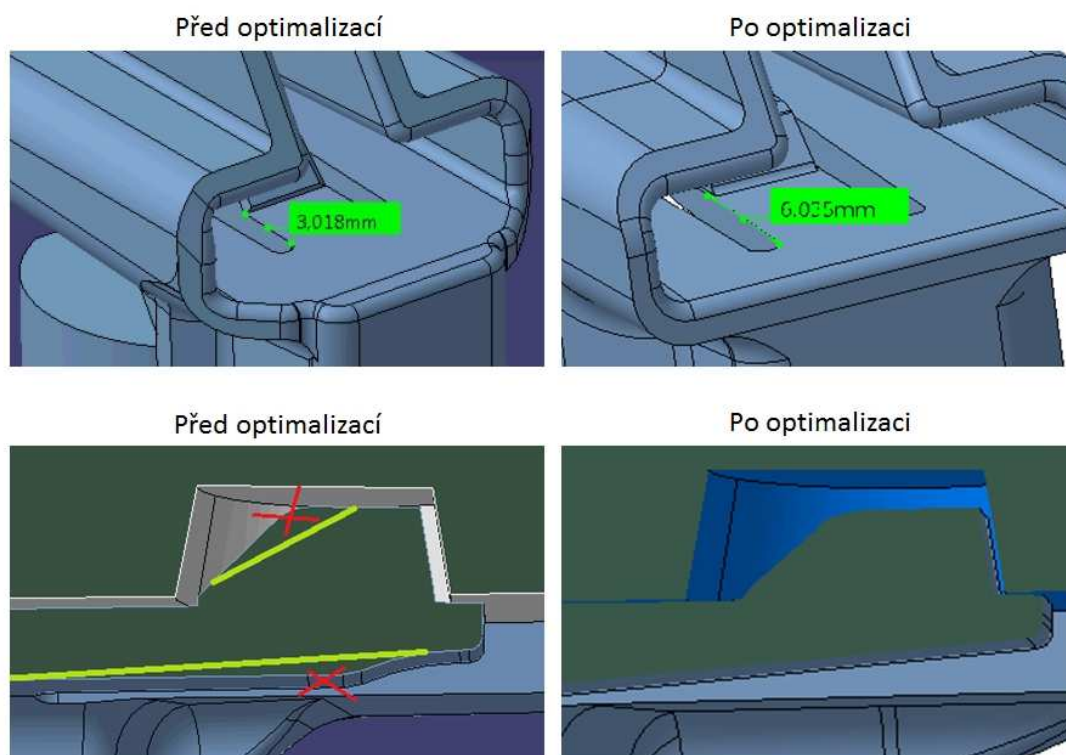
- Pružný element 1 – hrozí porušení geometrie, s časem hrozí pokles napínací síly.
 - Pružný element 2 – hrozí porušení geometrie fixačního zácvak.
 - Pružný element 3 – hrozí porušení geometrie pružného elementu pro vyklonění 3,6 mm ve směru osy Y. Nutno optimalizovat vymežovací žebra na maximální přípustnou hodnotu vyklonění 2,6 mm.
- Celková tuhost dílu je 16,1 N.

Následně proběhla řada optimalizací geometrie dílu za účelem navýšení tuhosti dílu a zaručení správné funkčnosti pružných elementů na díle. Jako první bylo optimalizováno namáhání esovité pružné geometrie pro napínací sílu k malému T-dómu v ose X. V prvním kole simulací byla esovitá geometrie deformována maximálně o 0,8 mm ve směru osy X a výsledkem bylo riziko porušení geometrie. Tato hodnota byla pro další simulování snížena na 0,5 mm, což je pro daný materiál přípustná hodnota a napínací síla v ose X je dostatečná pro správnou fixaci dílu. Této hodnoty deformace se docílilo úpravou zakřivení esovité geometrie. Kolizní hodnota byla snížena z 0,8 mm na 0,5 mm. Na obr. 59 je znázorněno, že při dosedu geometrie malého T-dómu na geometrii fixačního zácvak bude deformace esovité geometrie rovna 0,3 mm v ose X ($0,5 - 0,2 = 0,3$) a maximální hodnota deformace při dosedu nastavovacího elementu na T-dóm na nulu bude 0,5 mm.



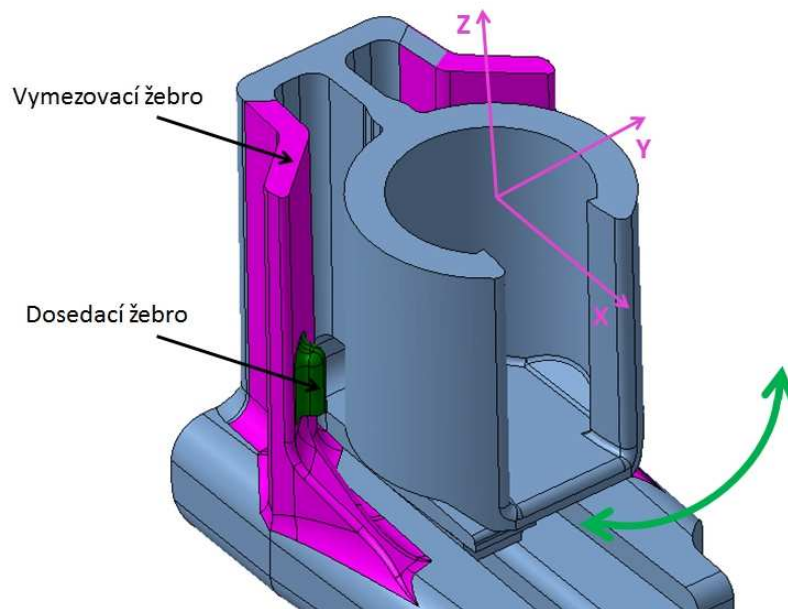
Obr. 59 Konstrukční návrh – varianta 3: optimalizace deformace esovité geometrie.

Další optimalizací byla úprava geometrie fixačního zácvaku, který byl krátký a při montáži kdy musí přepřužit přes geometrii T-dómu byla hodnota napětí na jeho konci nadlimitní a hrozilo ulomení zácvaku. Aby byl zácvak schopen přepřužit hodnotu 1,6 mm v ose Z, byla část zácvaku až po jeho zobáček prodloužena z 3 mm na 6 mm (Obr. 60). Dvojnásobnou délkou bychom měli docílit polovičního napětí (tedy vyhovujícího) při montáži nastavovacího elementu na reflektor. Simulace po prodloužení geometrie ukázala pokles namáhání o 47 % a reakční sílu na přepřužení zácvaku o velikosti 5N. I tvar zácvaku byl v zájmu snížení namáhání a zvýšení jeho odolnosti upraven. Optimalizace profilu je znázorněna na obr. 60. Byla snížena výška zobáčku zácvaku pro menší hodnotu rozměru nutnou k přepřužení, zvětšen úhel stěny zobáčku pro lepší zacvaknutí do geometrie T-dómu a byla narovnána horní plocha zácvaku.



Obr. 60 Konstrukční návrh – varianta 3: optimalizace geometrie fixačního zácvaku.

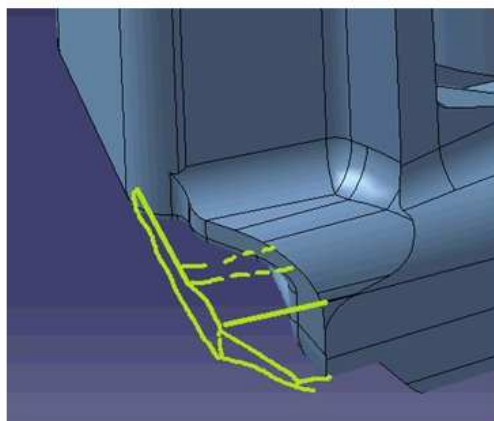
Poslední optimalizací pružných geometrií dílu byla optimalizace geometrie vymezovacích žeber za účelem zmenšení maximální hodnoty vyklonění v ose Y z 3,6 mm na přípustných 2,6 mm. Tohoto požadavku bylo dosaženo vytvořením dosedací geometrie na geometrii vymezovacích žeber. Dosedací žebra přesně vymezují hodnotu vyklonění 2,6 mm a umožňují snadnou úpravu rozsahu vyklonění při optimalizace nástroje po prvních reálných testech. Vymezovací žebra jsou ve spodní části vyztužena a pevně zavazbena k geometrii, která slouží pro fixaci dílu na T-dóm. Vysoká tuhost dosedacích žeber umožňuje pevné zapření stykové geometrie pro hlavu hřídele nastavovacího motorku o dosedací žebra při horizontálním pohybu (ve směru osy Y). Pevná vazba mezi dosedací geometrií na T-dóm a vymezovacími žebry má výrazný vliv na zvýšení tuhosti celého nastavovacího elementu.



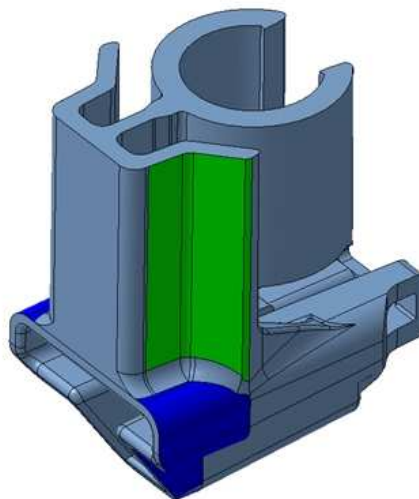
Obr. 61 Konstrukční návrh – varianta 3: optimalizace maximálního možného vyklonění v ose Y.

Po úpravách pružných částí dílu bylo věnováno úsilí ještě zlepšit celkovou tuhost dílu a probíhala další kola optimalizace geometrie. Výsledná simulace ukázala, že po všech optimalizacích a přidání tloušťky materiálu 0,3 mm (obr. 62 zeleně vyznačené plochy) a materiálu pomáhajícího zabránit rozevírání dílu (obr. 62 modře vyznačené plochy) vzrostla celková tuhost o 44,3 % z hodnoty 16,1 N na konečnou hodnotu 28,9 N.

Před optimalizací



Po optimalizaci

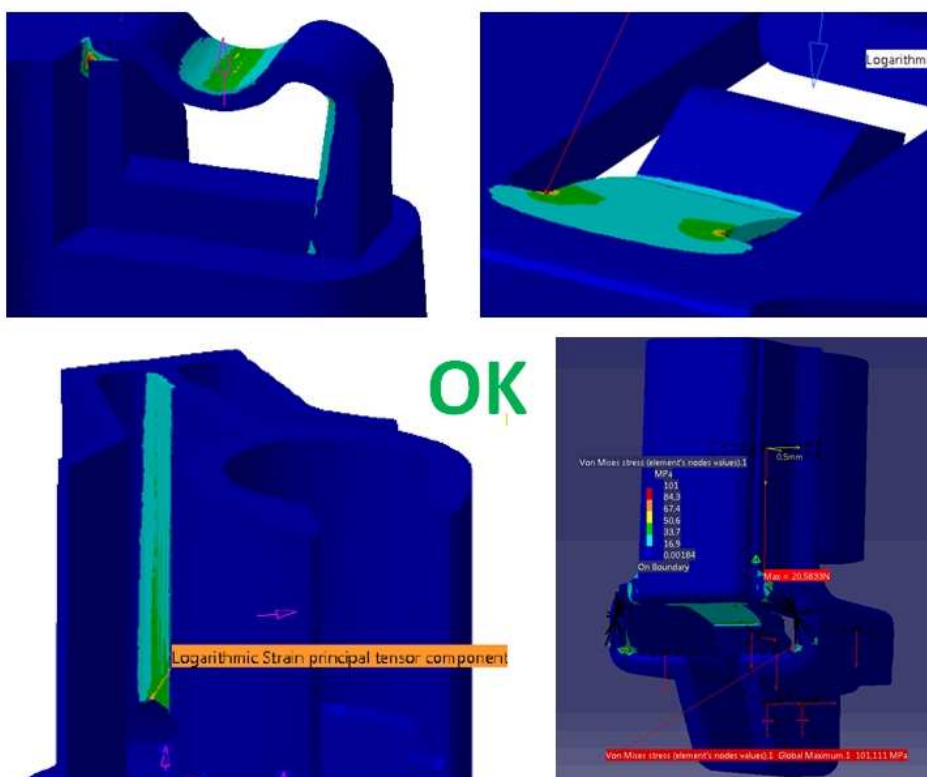


Obr. 62 Konstrukční návrh – varianta 3: navýšení tuhosti.

Po všech kolech úprav a optimalizací geometrií byla spuštěna kontrolní simulace celého dílu, která pro sledované tři pružné geometrie dílu, a ukázala následující výsledky:

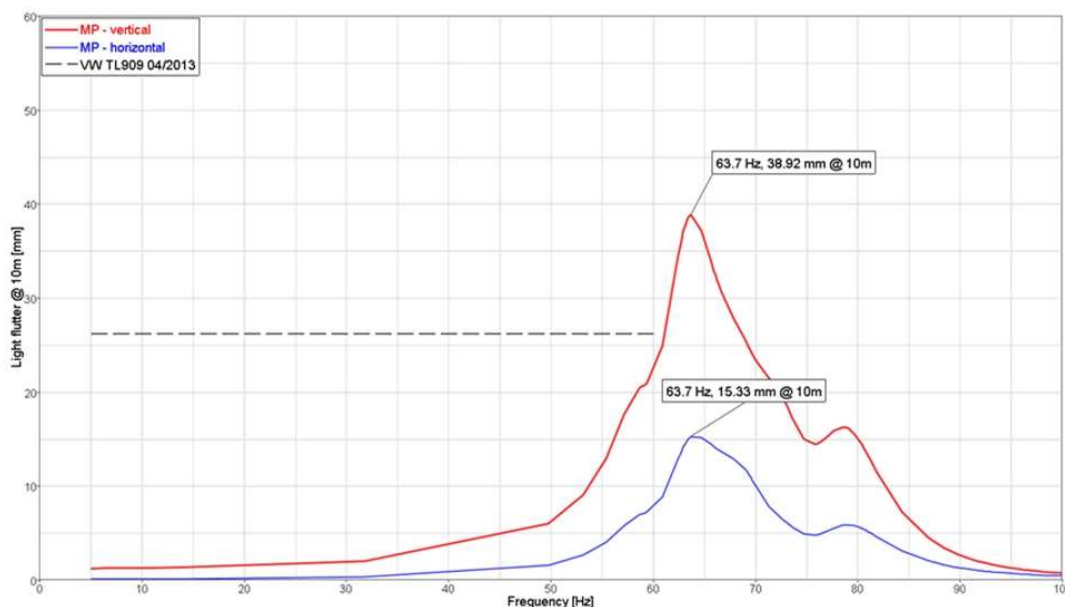
- Pružný element 1 – nehrozí porušení geometrie, s časem hrozí pokles napínací síly.
 - Pružný element 2 – nehrozí porušení geometrie fixačního zácvaku.
 - Pružný element 3 – nehrozí porušení geometrie pružného elementu pro maximální hodnotu vyklonění 2,6 mm ve směru osy Y
- Celková tuhost dílu vzrostla na 28,9 N.

PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2



Obr. 63 Konstrukční návrh – varianta 3: znázornění pevnostních výpočtů pružných geometrií dílu pro materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2.

Následně byl díl zakomponován do sestavy pilotního projektu a byla spuštěna simulace celého světlometu. Výsledky pevnostní simulace celého světlometu ukázaly, že rozšíření světelné stopy je v normě a rezonanční frekvence leží v přípustné oblasti (na obr. 64 neprotínají přerušovanou čáru). Jak je znázorněno na obr. 64, rezonanční frekvence leží až za sledovanou oblastí (přerušovaná šedá čára). Pod sledovanou oblastí nejsou žádné rozkmity, což znamená velmi dobrou hodnotu rozšíření světelné stopy. Tyto příznivé výsledky přisuzujeme především dobré tuhosti geometrie konstrukčního návrhu třetí varianty.



Obr. 64 Konstrukční návrh – varianta 3: znázornění kmitání světelné stopy a rezonančních frekvencí.

3.3 Zhodnocení výsledků pevnostních simulací

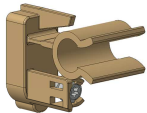

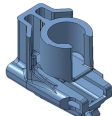
Výsledky simulací ukazují, že v případě všech tří variant je materiál POM Delrin 127 z hlediska co největší pružnosti dílu nastavovací element nevhodnější. Při použití tohoto materiálu je dosaženo největších hodnot pružících rozsahů, nejmenších hodnot napětí v kritických místech geometrie dílu a nejmenšího namáhání materiálu. Bohužel při použití materiálu POM Delrin 127 dosahovaly simulované varianty nepřijatelně malých hodnot tuhosti. Z hlediska tuhosti dílu ve všech variantách řešení vyniká materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Použitím tohoto materiálu je dosaženo velmi dobré tuhosti dílu, nicméně maximální hodnoty možného výkyvu pružných elementů součásti jsou menší než u materiálu POM. Hodnoty těchto výkyvů byly pečlivě zkoumány pomocí kinematických simulací a pro materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2 byly vyhodnoceny jako zcela vyhovující. Protože bylo dosaženo dostatečných hodnot výkyvu pružících elementů a současně největší tuhosti součásti u všech simulovaných variant je za nejvhodnější, z hlediska pevnostních výpočtů, volen materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2.

Jako nejdůležitější faktor při posouzení vhodnosti simulovaných variant je z hlediska pevnostních simulací tuhost dílu, která má největší vliv na chování světelné stopy při dosahování rezonančních frekvencí světlometu, na velikosti hodnot rezonančních

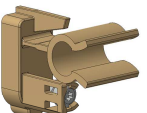
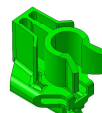
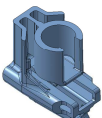
frekvencí a na celkový průběh rozkmitu světelné stopy. Výrazně nejvyšší tuhost má konstrukční návrh – varianta 3, který dosahuje hodnoty 28,9 N při zatížení nastavovacího elementu posunem hlavy hřídele nastavovacího motorku o 0,5 mm ve směru osy X. Třetí varianta řešení má o 41 % větší tuhost než varianta 1 a o téměř 46 % větší tuhost než varianta 2.

Z celkového pohledu pevnostních simulací a jejich výsledků je jako nejvhodnější pro použití hodnocena třetí varianta konstrukčního návrhu za použití materiálu PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Pro přehlednost je vzájemné srovnání všech tří variant řešení uvedeno v tab. 2 a tab. 3.

Tab. 2 Porovnání rozsahu pružení napříč navrhovanými variantami řešení a materiály.

Varianta návrhu	ROZSAH PRUŽENÍ		
	POM Derlin 127	PBT Ultradur B 420	PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2
Varianta 1 	± 5,5 mm v ose Z	± 3,5 mm v ose Z	± 4 mm v ose Z
Varianta 2 	± 3,6 mm v ose Y	± 2,4 mm v ose Y	± 3 mm v ose Y
Varianta 3 	—	± 2,2 mm v ose Y	± 2,6 mm v ose Y

Tab. 3 Porovnání tuhosti napříč navrhovanými variantami řešení a materiály.

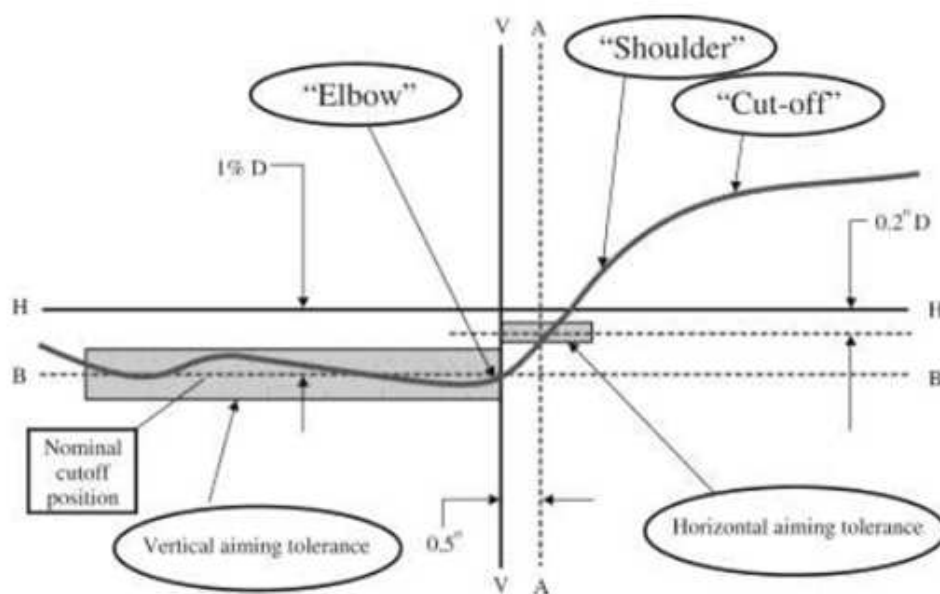
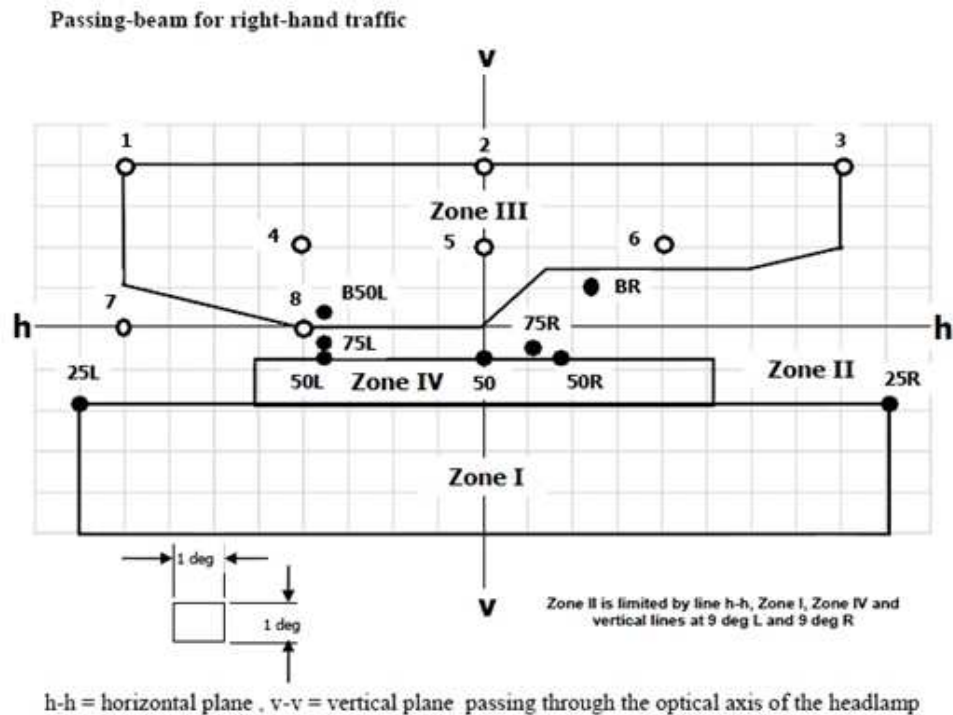
Varianta návrhu	TUHOST SOUČÁSTI		
	POM Derlin 127	PBT Ultradur B 420	PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2
Varianta 1 	9,5 N	11,5 N	16,8 N
Varianta 2 	8,9 N	10,8 N	15,7 N
Varianta 3 	—	19,8 N	28,9 N

4 ZKOUŠKA FUNKČNOSTI NA SIMULAČNÍM PRACOVÍŠTI

Aby byl výrobce schopen splnit všechny požadavky a následně obstát ve všech zkouškách, daných jak zákazníkem, tak legislativou, prochází světlomet řadou testů a zkoušek přímo u výrobce. Níže jsou uvedeny zkoušky, které je nutno vyhodnocovat z pohledu vlivu součásti nastavovací element na funkčnost světlometu:

- **Měření světelných funkcí** – k vyhodnocení slouží přístroj zvaný **goniometr**. Měří se světelné hodnoty jednotlivých světelných funkcí a u režimu tlumeného (potkávacího) světla hranice světelné stopy (HDG – Hell-Dunkel Grenze, Cutoff line). Můžeme také pozorovat a vyhodnocovat nežádoucí odlesky a průsvity světla, ovlivnění světelného toku špatným lakováním reflektoru a nepřesnou výrobou či montáží. Světlomet je zafixován v přípravku, který simuluje fixování v automobilu, jsou zkontrolovány všechny elektrické a světelné funkce, světlomet je nastaven do nulové polohy a začíná měření. Hranici světelné stopy můžeme pozorovat na bílé stěně v dané vzdálenosti od světlometu, na níž jsou přesně vyznačeny hranice, kterých světlomet musí dosahovat.

Hranice světla a tmy (HDG) – nastavení světlometů musí být možné pomocí vybavení příslušných výrobních středisek. **Požadavek na HDG pro tlumené světlo** – nesmí být přítomny žádné mapy nebo jiné světelné fleky nad HDG (zóna III). Horizontální linie HDG musí probíhat přímo vodorovně od -4° až k HV-linii (u levostranného provozu $+4^\circ$ až k HV-linii) a nesmí být vyklenutá nebo sklopená (obr. 65). **Provedení zkoušky** – vizuálně na měřicí stěně stojící kolmo k optické ose ve vzdálenosti 10m. Gradient HDG musí ležet od H $-0,5^\circ$ do -2° v oblasti 0,25 a 0,35. **Postup měření** – před jednotlivou zkouškou je nutno HDG světlometu nastavit ve zkušebním stojanu na H $-1,0\%$. Po jednotlivé zkoušce je nutno horizontálně a vertikálně zjistit změnu polohy HDG. Zkušební vzorek nesmí být po celou dobu průběhu zkoušky sejmuto ze zkušebního stojanu a nesmí být přemístěn. **Hodnoty přípustné změny polohy HDG** – vertikálně maximálně $\pm 0,2\%$, horizontálně maximálně $\pm 0,3\%$. [18] Tyto hodnoty odpovídají vertikálně maximálně ± 20 mm a horizontálně maximálně ± 30 mm na 10 m vzdálené zdi.



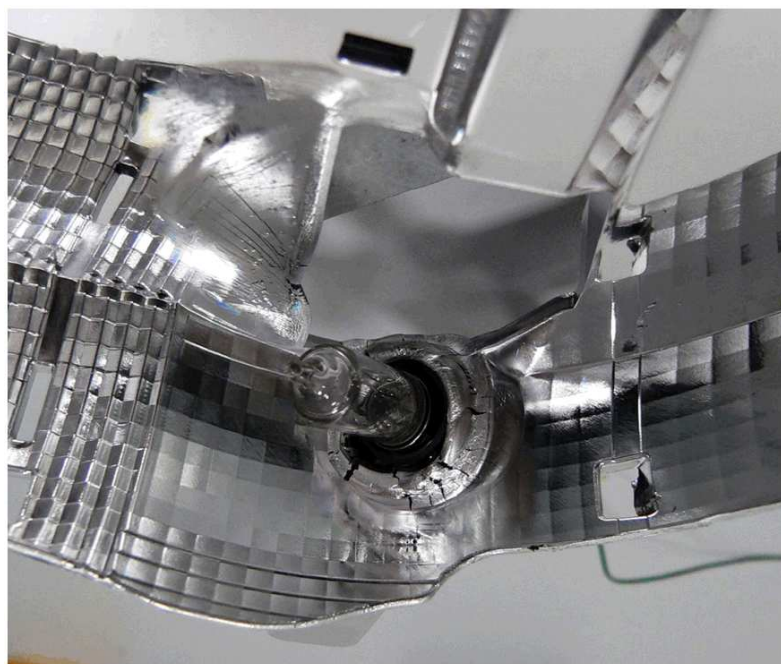
Note: The scales are different for vertical and horizontal lines.

Obr. 65 Popis problematiky HDG. [19]

- **Zkouška tepelné odolnosti** – světlomet je vložen do klimatické komory, kde je nastavena určitá teplota okolí a na určitou dobu jsou zapínány a vypínány různé světelné funkce světlometu. Teplota okolí a doba svícení je dána zákazníkem. Pozoruje se degradace nebo poškození materiálu jednotlivých dílů nebo dokonce ztráta funkčnosti světlometu, poté co některá ze světelných funkcí přestane svítit (fungovat). Po zkoušce putuje světlomet na goniometr, na kterém se měří hodnoty jednotlivých světelných funkcí a hranice světelné stopy.

Požadavky – maximální teploty nesmí překročit mezní teplotu použitých materiálů, povrstvení a konstrukčních skupin. Tvorba povlaku (Fogging), deformace, netěsnosti, trhliny nebo podobné nedostatky nejsou přípustné. Veškeré díly a komponenty se musí nacházet ve svém původním tvaru a nesmí být negativně ovlivněna jejich funkce. **Provozní teplota a teplota uložení:** pokojová teplota ($+23 \pm 5$) °C, dolní provozní teplota -40 °C, horní provozní teplota +70 °C, dolní mezní teplota uložení -40 °C, horní mezní teplota uložení +110 °C.

Průběh zkoušky – osazení světlometů termočlánky. Pro zkoušku se zatížením, pro verze světlometů se žárovkami H4 nebo HB2 je nutno spínací cyklus provést následovně: vedlejší spirála (např. tlumené světlo) H4 = 15 min, hlavní spirála (např. dálkové světlo) H4 = 5 min, směrové světlo = trvale blikající, PO-světlo = trvale, SML světlo = trvale. [18]



Obr. 66 Příklad poškození reflektoru po teplotní zkoušce. [20]

Provádí se dva základní typy zkoušek tepelné odolnosti světlometu. Zaprvé uložení na vzduchu bez zatížení, tzn. žádná ze světelných funkcí není v provozu. Zadruhé uložení na vzduchu se zatížením, tzn. světelné funkce jsou provozovány v různých režimech svícení. Průběh zkoušky:

➤ **Uložení na vzduchu bez zatížení:**

- uložení 4 hodiny při dolní mezní teplotě uložení,
- doba přesunu ≈ 30 minut,
- uložení 4 hodiny při horní mezní teplotě uložení.

➤ **Uložení na vzduchu se zatížením:**

- Uložení 4 hodiny při dolní provozní teplotě a provozu „noční provoz“ přístroje s maximálním výkonem při zkušebním napětí.
- Doba přesunu ≈ 30 minut.
- Uložení 4 hodiny při horní provozní teplotě a provozu „denní provoz“ (pouze světlometry s denním jízdním světlem), následně uložení 4 hodiny při horní provozní teplotě a provozu „noční provoz“ přístroje s maximálním výkonem podle vozidla při zkušebním napětí. [18]

Po zkoušce musí být splněny požadavky následujících oddílů:

- „Zkouška těsnosti pomocí přetlaku“;
- „Točivé momenty“;
- „Mez únavy při kmitavém napětí širokopásmové vibrace“;
- „Rezonanční frekvence reflektoru“;
- „Rozšíření hranice světla a tmy“;
- „Fotometrie“ – fotometrické požadavky podle zákonných zadání (pro minimální hodnoty je nutno dodat 100 % požadovaných hodnot jmenovaných v odpovídajících zákonných požadavcích nebo směrnících). [18]

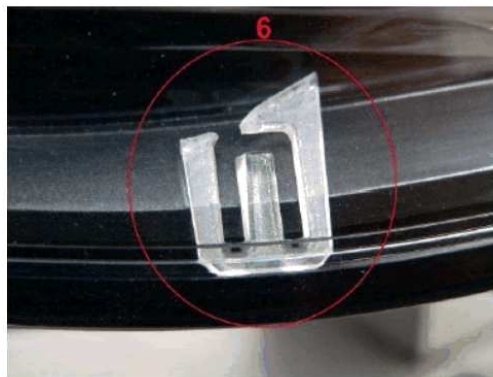
- **Vibrační zkouška** – světlomet je uchycen na vibračním zařízení za stejné fixační body jako v automobilu. Je rozkmitán po určitou dobu s určitou nebo proměnlivou frekvencí. Jsou pozorovány a vyhodnocovány lomy, praskliny, prach ve světlometu, poškození viditelných desénových ploch a také hluk, který rozkmitaný světlomet vydává při různých frekvencích. Poté světlomet znovu putuje do ruky optickým expertům na goniometr, kde se opět proměřují všechny funkce.

Požadavek – nesmí se vyskytnout žádné nedostatky jako např. trhliny pouzdra, uvolnění nástavbových dílů nebo poškození funkcí. Vadné žárovky smí být vyměněny. Rezonanční frekvence reflektorů nebo reflektorových modulů musí být vertikálně k optické ose > 32 Hz. Aktivace reflektoru nesmí v oblasti 5 Hz až 32 Hz překročit 1,25 g (charakteristika přenosu $< 2,5$).

Upevnění zkušebních vzorků – montáž bez rezonancí v celém rozsahu zkušební frekvence. Vedení a hadice je nutno zachytit podle montážních podmínek tak, aby nevznikl vliv na zkušební vzorek. Regulační místa co nejbližší k upevňovacím bodům. **Trvání zkoušky:** 8 hodin ve směru Z. **Aktivace:** 5 Hz až 60 Hz s 0,5 g konstantně. **Trvání cyklu:** 1 minuta. **Směr vibrací:** vertikálně k optické ose. [18]

Po zkoušce musí být stále ještě splněny požadavky následujících bodů:

- „Zkouška těsnosti pomocí přetlaku“;
- „Točivé momenty“;
- „Změna hranice světla a tmy“;
- „Rezonanční frekvence reflektoru“;
- „Fotometrie“ (Fotometrické požadavky podle zákonných zadání). [18]

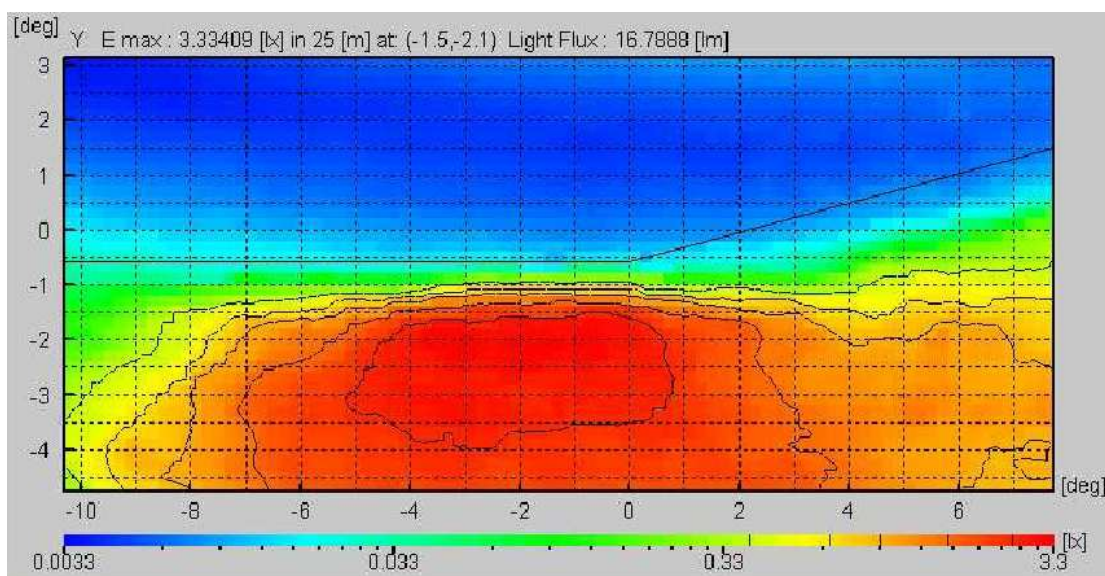


Obr. 67 Příklad poškození dílů světlometu po vibrační zkoušce. [21]

4.1 Měření světelných funkcí – goniometr

Na goniometru proběhlo měření světlometu s postupně zamontovanými všemi třemi návrhy řešení dílu nastavovací element z materiálu PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Nejprve byla do světlometu implementována varianta 1, poté varianta 2 a nakonec varianta 3. Ve všech třech případech byl světlomet uchycen v měřicím stojanu, který simuluje upevnění do vozidla. Světlomet byl v měřicím stojanu uchycen za stejné fixační body, za které je uchycen v automobilu. Před vlastním měřením proběhla krátká elektrická zkouška, byla zkontrolována funkčnost jednotlivých světelných funkcí, dále byla zkontrolována a vyzkoušena funkčnost a rozsahy nastavovacího systému reflektoru. Poté byl reflektor nastaven do „nuly“ a bylo spuštěno vlastní měření světelných hodnot.

Pro každou variantu řešení bylo měřeno pět zkušebních vzorků. Výsledky všech měření byly navzájem porovnány. Výsledky ukázaly jemné odchylky při měření vzorků, které byly do 1 % naměřených hodnot. Dá se říci, že světelný výstup po nastavení světlometu je stejný pro všechny varianty řešení.



Obr. 68 Mapa a hodnoty světelného výstupu tlumené funkce po měření na goniometru.

4.2 Teplotní zkoušky – měření HDG

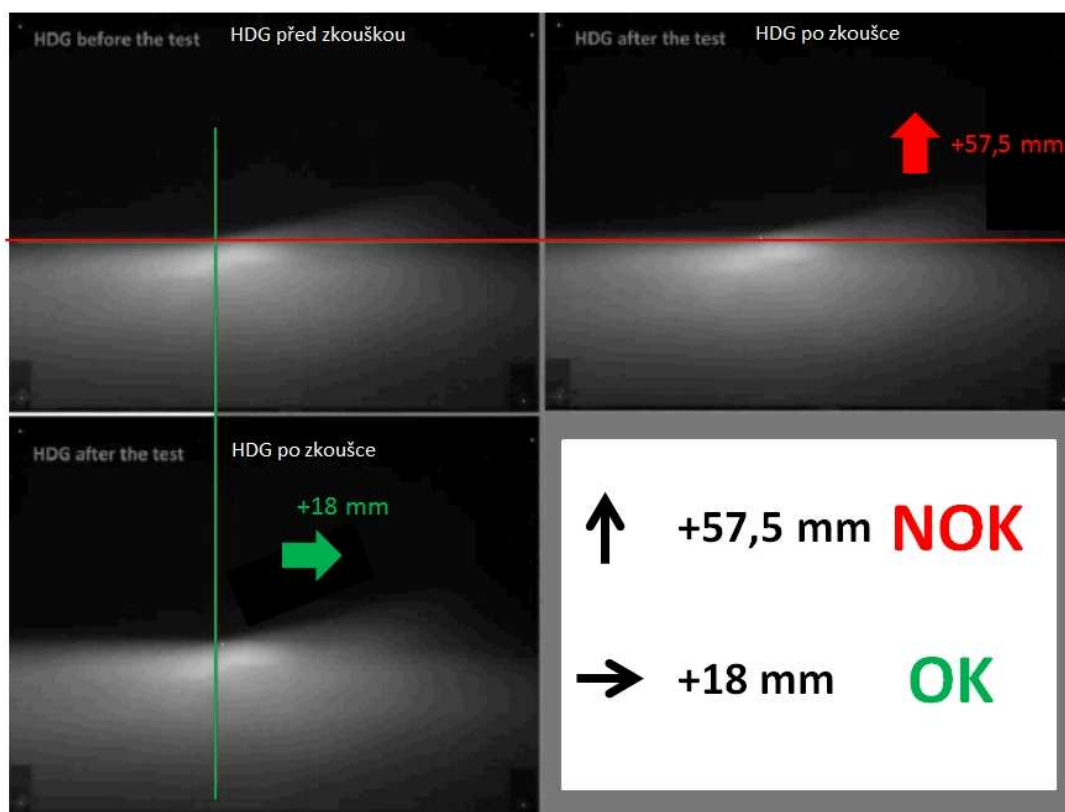
Postupně byly do světlometu montovány všechny navrhované varianty nastavovacího elementu a byly provedeny kompletní zkoušky teplotní odolnosti světlometu, a to jak bez zatížení (bez svícení), tak se zatížením (se svícením). Pro každou variantu bylo vyzkoušeno pět světlometů. Zkouška probíhala ve stejném měřicím stojanu jako při předchozím měření světelných hodnot na goniometru. Byly prozkoušeny všechny tři varianty vyrobené z materiálu PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2, takže odolnost vůči teplotě všech tří variant je stejná. Vliv, který je pro různé varianty řešení nastavovacího elementu rozdílný, je zatížení vahou reflektoru za vysokých teplot při zkoušce.

Po provedení teplotních testů putoval každý vzorek, upevněný v měřicím stojanu, k opětovnému měření na goniometru. Zde byly zkontrolovány velikosti točivých momentů potřebných pro správné nastavení reflektoru. Všechny točivé momenty ležely v intervalech přípustných hodnot. Následně se vizuálně a digitálně vyhodnotila změna pozice HDG všech vzorků a provedla se fotometrie, která ukázala změnu hodnot světelného výstupu. Z každých pěti vzorků se hodnoty zprůměrovaly a vzaly se jako výstup měření po teplotních zkouškách pro danou variantu.

4.2.1 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 1

Výsledek měření hranice světla a tmy pro první variantu s hodnotami posunu pozice hranice je znázorněn na obr. 69. Hodnota posunu hranice ve vertikálním směru +57,5 mm neleží pod dovolenou mezní hodnotou a je hodnocena jako nepřijatelná. Tuto relativně vysokou hodnotu přikládáme deformaci dílu za vysokých teplot způsobenou váhovým zatížením od reflektoru. Hodnota posunu hranice v horizontálním směru +18 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou a je v pořádku.

Varianta 1

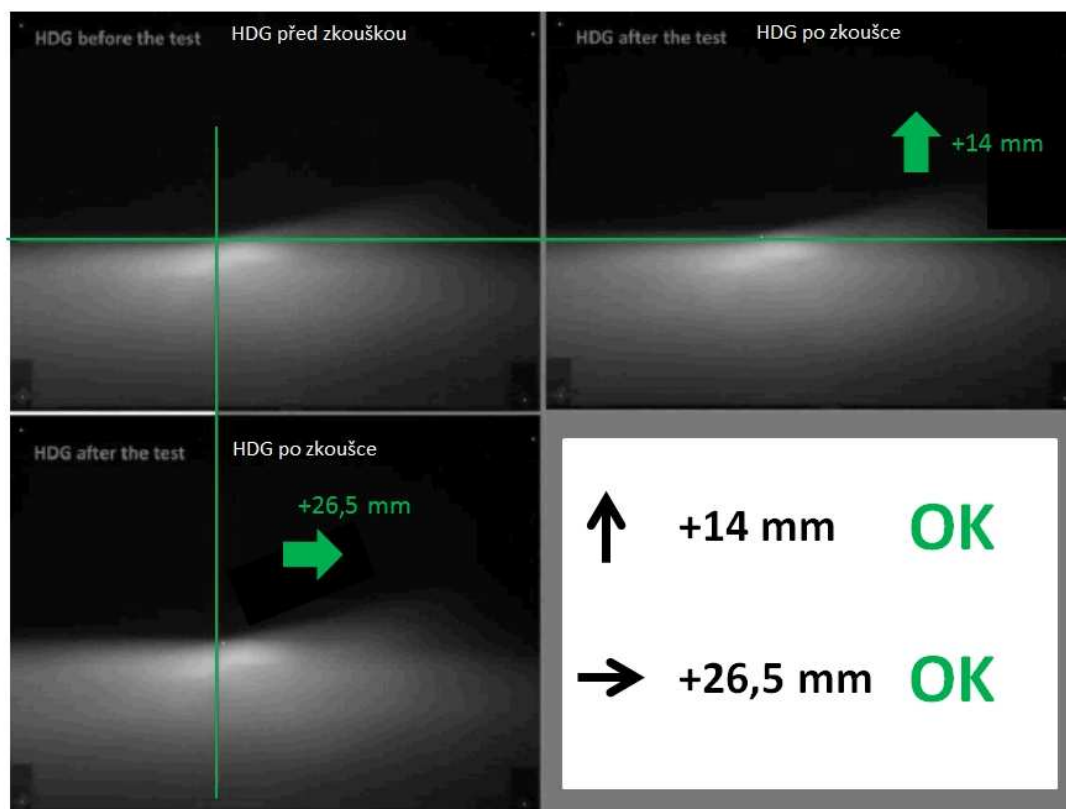


Obr. 69 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 1.

4.2.2 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 2

Výsledek měření hranice světla a tmy pro druhou variantu s hodnotami posunu pozice hranice je znázorněn na obr. 70. Hodnota posunu hranice ve vertikálním směru +14 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Hodnota posunu hranice v horizontálním směru +26,5 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Obě hodnoty jsou přípustné. Výsledky jsou hodnoceny jako velmi dobré.

Varianta 2

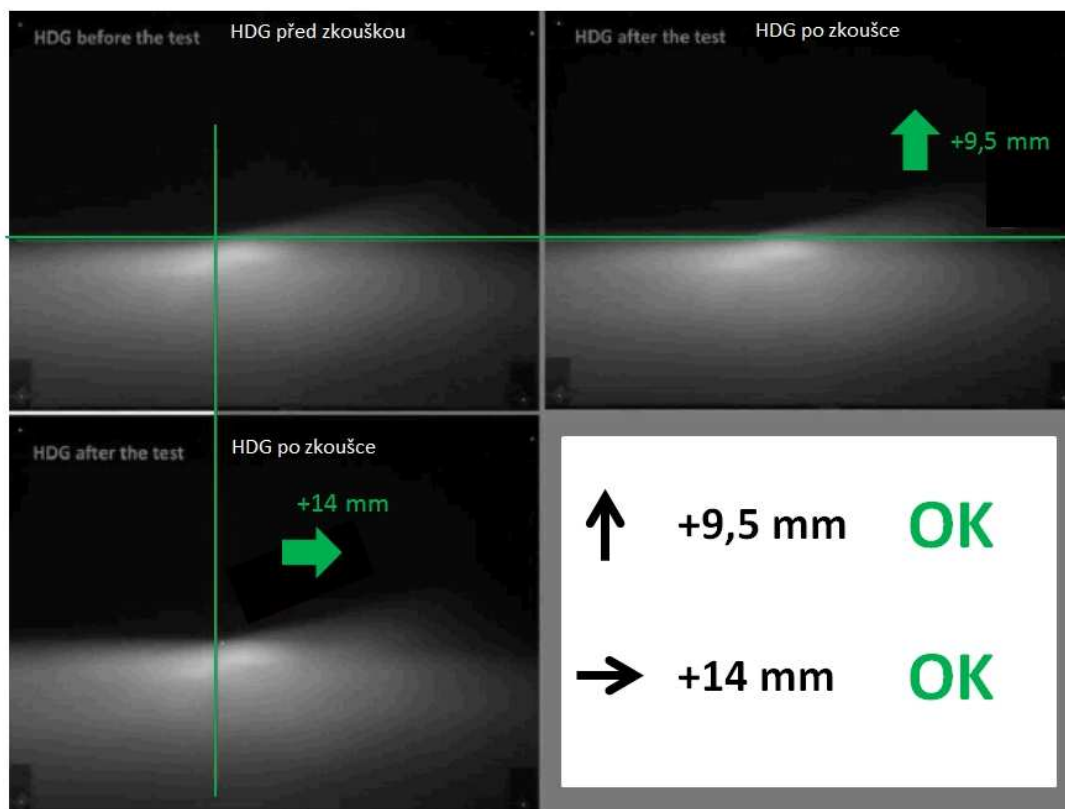


Obr. 70 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 2.

4.2.3 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 3

Výsledek měření hranice světla a tmy pro třetí variantu s hodnotami posunu pozice hranice je znázorněn na obr. 71. Hodnota posunu hranice ve vertikálním směru +9,5 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Hodnota posunu hranice v horizontálním směru +14 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Obě hodnoty jsou přípustné. Výsledky jsou hodnoceny jako vynikající.

Varianta 3



Obr. 71 Výsledek měření HDG po teplotní zkoušce – varianta 3.

4.3 Vibrační zkoušky – měření HDG

Světlomety s jednotlivými variantami nastavovacích elementů byly připevněny k vibračním stojanům za stejné fixační body, za které jsou světlomety uchyceny na vozidle. Světlomety ve stojanech byly na goniometru zkontrolovány a nastaveny do „nuly“. Poté putovaly na vibrační zařízení, kde byla provedena vibrační zkouška. Zkoušelo se pět světlometů pro každou variantu nastavovacího elementu.

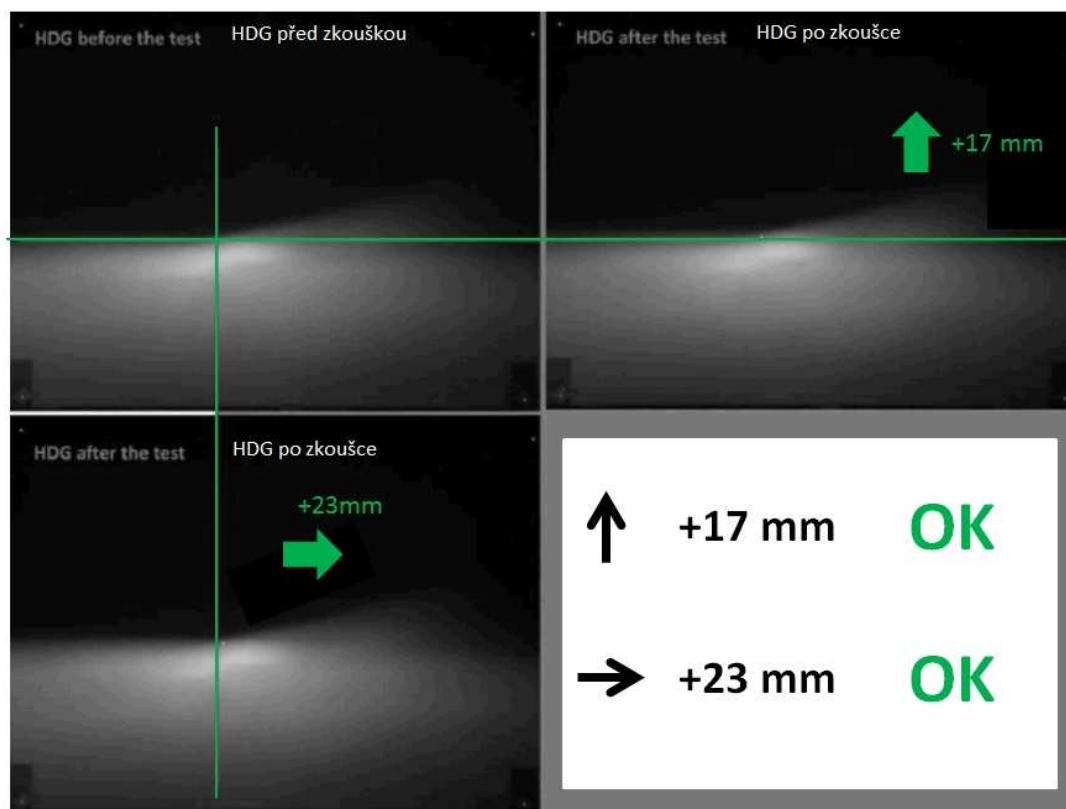
Po dokončení osmi hodinových vibračních testů putoval každý vzorek, stále upevněný ve vibračním stojanu, k opětovnému měření na goniometru. Zde se vizuálně a digitálně vyhodnotila změna pozice HDG všech vzorků a provedla se fotometrie, která ukázala změnu hodnot světelného výstupu. Z každých pěti vzorků se hodnoty zprůměrovaly a vzaly se jako výstup měření po teplotních zkouškách pro danou variantu.

Ani u jednoho vzorku nedošlo vlivem vibrací k prasknutí ani porušení geometrie. Dobrá odolnost proti vibracím je přisuzována materiálu a PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2, který obsahuje 10 % skelných vláken a je považován za materiál s dobrou pevností.

4.3.1 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 1

Výsledek měření hranice světla a tmy pro první variantu s hodnotami posunu pozice hranice je znázorněn na obr. 72. Hodnota posunu hranice ve vertikálním směru +17 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Hodnota posunu hranice v horizontálním směru +23 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Obě hodnoty jsou přípustné. Výsledky jsou hodnoceny jako dobré.

Varianta 1

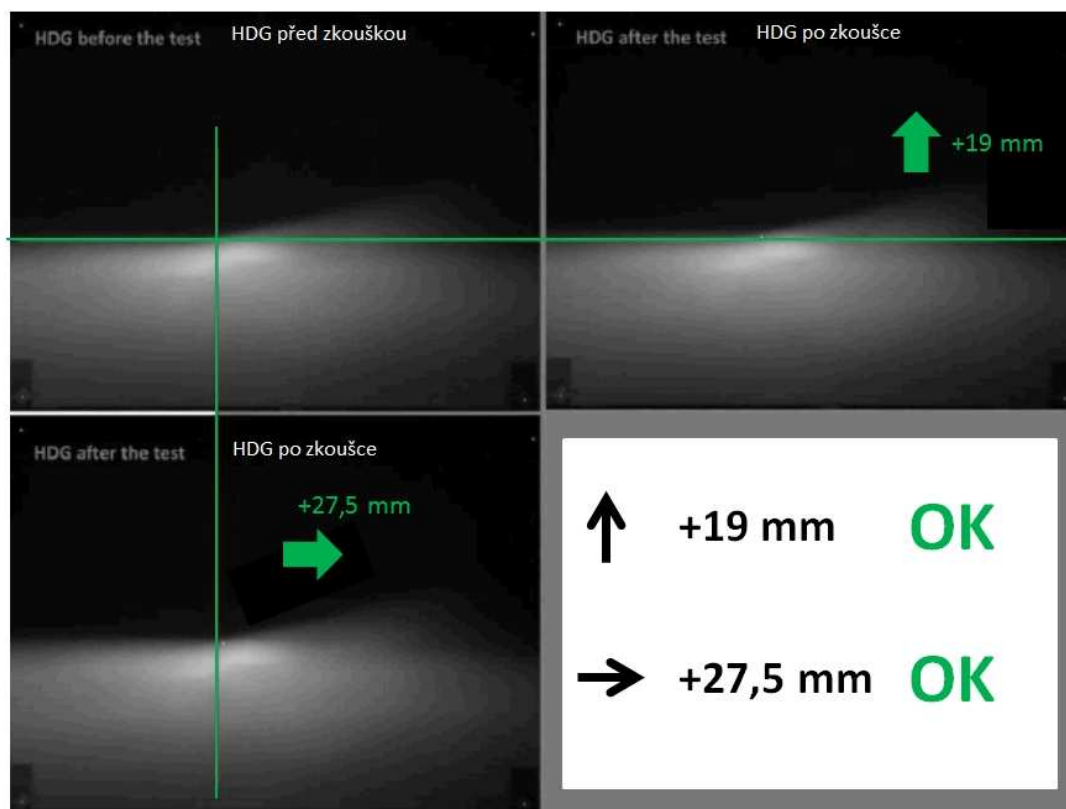


Obr. 72 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 1.

4.3.2 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 2

Výsledek měření hranice světla a tmy pro druhou variantu s hodnotami posunu pozice hranice je znázorněn na obr. 73. Hodnota posunu hranice ve vertikálním směru +19 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Hodnota posunu hranice v horizontálním směru +27,5 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Obě hodnoty jsou přípustné. Výsledky jsou hodnoceny jako dobré.

Varianta 2

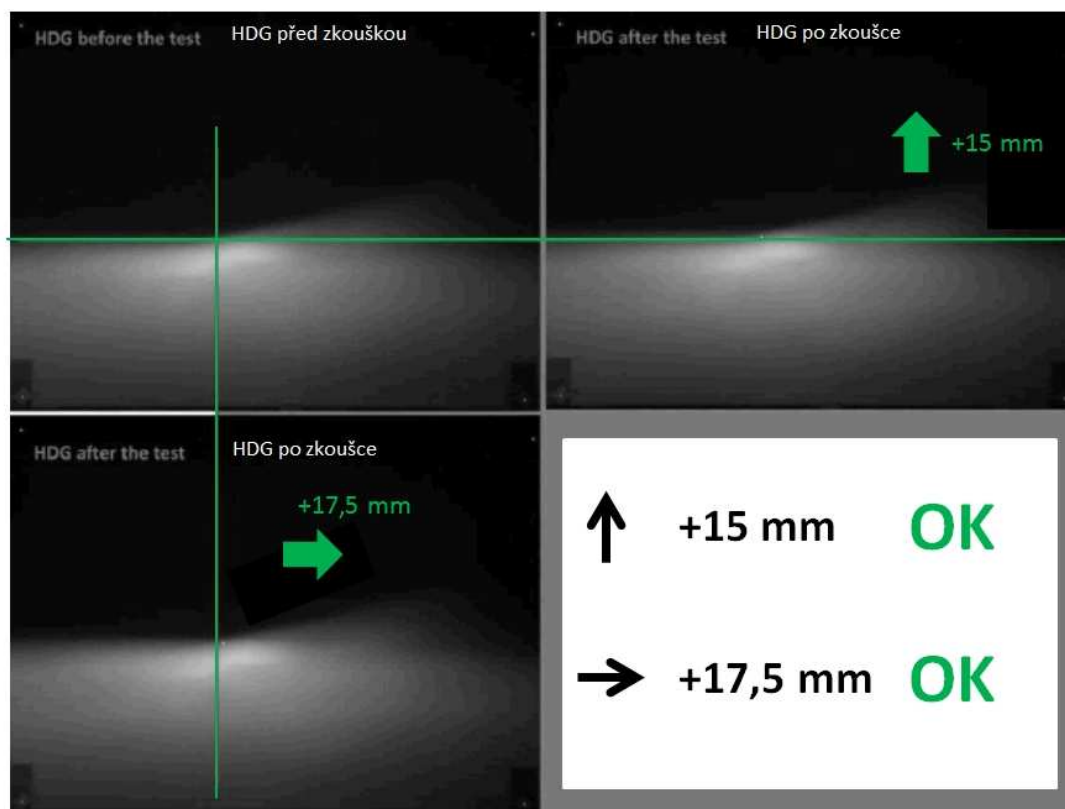


Obr. 73 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 2.

4.3.3 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 3

Výsledek měření hranice světla a tmy pro třetí variantu s hodnotami posunu pozice hranice je znázorněn na obr. 74. Hodnota posunu hranice ve vertikálním směru +15 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Hodnota posunu hranice v horizontálním směru +17,5 mm leží pod dovolenou mezní hodnotou. Obě hodnoty jsou přípustné. Výsledky jsou hodnoceny jako velmi dobré.

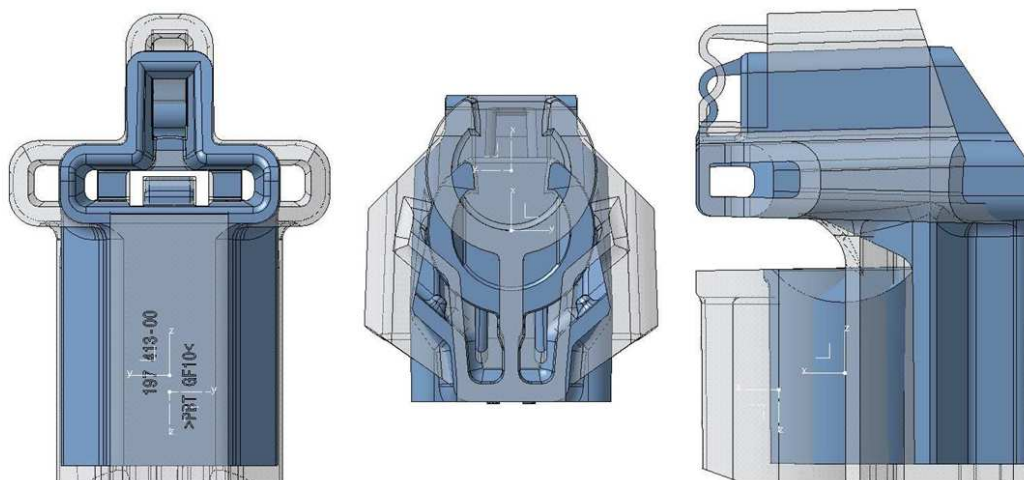
Varianta 3



Obr. 74 Výsledek měření HDG po vibrační zkoušce – varianta 3.

5 DISKUZE

Výsledkem konstrukčního návrhu měl být díl zabírající co nejméně zástavbového prostoru, a který je snadno montovatelný na reflektor. Montáž pomocí šroubu, jak je tomu v případě konstrukčního návrhu – varianta 1, je hodnocena jako náročnější a to jak manuálně, tak časově. Navíc je nutné počítat s náklady navíc, na šroub a na předmontážní stanoviště nastavovací element – šroub. Co se týče zástavbového prostoru, je na tom varianta 1 ze všech tří navrhovaných variant řešení nejhůře, díl je příliš velký. Montáž nacvaknutím na T-dóm, jako je tomu u variant 1 a 2, se jeví jako manuálně nenáročná, časově krátká a spolehlivá řešení, což je denně potvrzováno v praxi na montážních linkách. Varianta číslo 2 je výrazně menší než varianta číslo 1 a její rozměry se dají považovat za dobré. Bylo přistoupeno k vývoji geometrie podobnou variantě 2, která bude zabírat ještě méně zástavbového prostoru. Byl zkonstruován menší T-dóm a byla vyvinuta třetí varianta nastavovacího elementu. Při konstrukčním návrhu varianty 3 byly všechny geometrie oproti variantě dvě výrazně zmenšeny a vyztuženy. Díl je zástavbově nejmenší, je asi o 25 % menší než varianta 2 (porovnání na obr. 75). Z konstrukčního hlediska je varianta 3 jasně nejlepší, což se potvrzuje při vývoji nových světlometů, kde je díl využíván.



Varianta 2 – průhledná šedá

Varianta 1 – modrá

Obr. 75 Porovnání velikosti dílu – varianta 2 a varianta 3.

Světelný výstup (viz obr. 68) po nastavení světlometu měřený na goniometru je dle předpokladu stejný pro všechny varianty řešení. Výsledky dokazují, že všechny tři varianty řešení jsou plně funkční a zajišťují spolehlivé seřízení světlometu.

Na základě pevnostních simulací byl pro všechny navrhované varianty jako nejvhodnější materiál zvolen materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2, se kterým díly dosahují největší tuhosti. Díky tomu se výrazně nelišily výsledky měření změny pozice HDG (hranice světlo tma) po zkouškách teplotní odolnosti. Pouze u první varianty byla zjištěna větší odchylka ve vertikálním směru zapříčiněná horizontální polohou pružícího žebra na díle, které neodolalo zatížení od reflektoru a došlo tím k deformaci žebra. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s variantou 3, výsledky měření tento předpoklad potvrdily.

Výsledky měření změny pozice HDG po vibračních testech potvrdily výsledky pevnostních simulací pro materiál PBT-GF10 Ultradur B 4300 G2. Výsledky měření se jen lehce lišily v případě srovnání varianty 1 a varianty 2, což potvrzuje předpoklad z výsledků pevnostních simulací. Pevnostní simulace ukázaly, že tyto dvě varianty mají skoro stejnou tuhost. Naprosto nejlepších výsledků měření HDG po vibračních zkouškách bylo dosaženo s variantou 3, která dosahuje téměř polovičních hodnot odchylky pozice HDG v porovnání se zbylými dvěma variantami. Výsledek měření opět potvrdil výsledek pevnostních simulací, které ukázaly největší tuhost varianty 3. Tuhost třetí varianty ve srovnání s ostatními variantami řešení dosahuje podle pevnostních simulací téměř dvojnásobných hodnot (viz tab. 3), což potvrdily skoro poloviční odchylky při měření HDG po vibračních testech.

Ve všech směrech je ve vzájemném srovnání navrhovaných variant nejlepší varianta číslo 3. Třetí varianta vyniká svou malou velikostí, díky níž se dá šetřit zástavbový prostor při konstrukčním návrhu a vývoji světlometu, zaručuje dostatečný rozsah pružení při nastavování světlometu, díky kterému je hřídel nastavovacího motorku zatěžována pouze axiálně a nejsou do ní nebo do reflektoru vnášena vedlejší nežádoucí pnutí a deformace. Také dosahuje jasně nejlepších výsledků rozšíření (rozkmitu) světelné stopy, která je zákazníkem přísně kontrolována.

5.1 Návrh pokračování řešení

Pokračováním v řešení problému by mohlo být zapracování na pružící geometrii a zvýšení maximální hodnoty vyklonění v ose Y při zachování stejné velikosti dílu. Optimalizace esovité pružné geometrie (viz obr. 26) tak, aby s časem nehrozil pokles napínací síly, která vytváří protitlak na geometrii fixačního závaku. Stále je zde potenciál pro zlepšování celkové tuhosti dílu.

Dle předpokladu budoucího vývoje problematiky by dalším směrem v pokračování řešení mohla být implementace dílu do světlometů s reflektorovým systémem, kde je zdrojem světla LED technologie.

6 ZÁVĚR

Vývojem nového nastavovacího elementu pro seřízení reflektoru světlometu bylo dosaženo následujících výsledků:

- zmenšení rozměrů dílu -> lepší využitelnost zástavbového prostoru světlometu,
- snadná, rychlá a spolehlivá montáž dílu na reflektor,
- dostatečný pružící rozsah pro minimalizaci vnášení nežádoucích vedlejších napětí do reflektoru a hřídele nastavovacího motorku,
- vysoká tuhost a tepelná odolnost dílu, které mají příznivý vliv na odchylku polohy HDG po teplotním nebo mechanickém zatížení světlometu,
- příznivé hodnoty rezonančních frekvencí světlometu, které mají vliv na rozkmit světelné stopy,
- spolehlivé seřízení reflektoru ve světlometu.

Obecně je vhodné nový nastavovací element využívat pro návrh konstrukčního řešení. Vývoj nových světlometů s reflektorovým systémem a díl zařadit mezi skupinu standardních dílů světlometu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HELLA, Výukové materiály pro předmět Konstrukce automobilového osvětlení. Mohelnice, 2014.
- [2] HELLA, Rendering. *Databáze halogenových světlometů*. Aktualizace 2014-04-12.
- [3] HELLA, Projekty. *Rozpady světlometů*. Aktualizace 2014-01-29.
- [4] HELLA, Databáze obrázků standardních dílů. Aktualizace 2014-03-08.
- [5] HELLA, Catia V5. *O softwaru Catia V5*. Aktualizace 2013-11-20.
- [6] HELLA, FEM simulace. *Školící materiály FEM*. Aktualizace 2014-01-13
- [7] ALTAIR ENGINEERING. History. [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.altairengineering.com/History.aspx>
- [8] ALTAIR ENGINEERING. Locations. [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.altairengineering.com/PageAllLocations.aspx>
- [9] ALTAIR ENGINEERING. Company profile. [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.altairengineering.com/CICompanyProfile.aspx?top_nav_name=Corporate%20Information&item_name=Overview&ci=1
- [10] ALTAIR ENGINEERING. Hyperworks. [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: www.altairengineering.com
- [11] ADVANCED ENGINEERING. Produkty Hyperworks. HyperMash, HyperView, HyperGraph. [online]. 2012 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.advanced-eng.cz/produkty-hyperworks>
- [12] ALTAIR ENGINEERING. OptiStruct. [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.altairhyperworks.com/pdfs/product_brochures/HW_OptiStruct_Web.pdf
- [13] HELLA, FEM simulace. *Příprava modelů*. Aktualizace 2014-04-17.
- [14] HELLA, FEM simulace. *Dynamické úlohy*. Aktualizace 2014-04-17.
- [15] Rezonance. [online]. Editace 21.02.2014 v 10:00 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rezonance>
- [16] JÍRA, J. Teoretická a aplikovaná mechanika. *Únava*. Praha: Česká technická univerzita v Praze, Fakulta transportních věd, Oddělení mechaniky a materiálů. [online]. Editace 08.12.2009 v 09:30 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://mech.fd.cvut.cz/education/master/k618tam/download/Unava.pdf>
- [17] HELLA, FEM simulace. *Simulace zácvků*. Aktualizace 2014-04-17.

[18] VOLKSWAGEN AKTLENNGESELLSCHAFT. Konzernnorm TL 909. *Sheinwerfer – Funktionsanforderungen*. Ausgabe 2013-04.

[19] UNITED NATIONS. E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3. Agreement, Addendum 111: Regulation No. 112. Revision 3. *Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing-beam or a driving-beam or both and equipped with filament lamps and/or light-emitting diode (LED) modules*. Publication 09.02.2014

[20] HELLA, Databáze výsledků teplotních zkoušek. Aktualizace 2014-02-08.

[21] HELLA, Databáze výsledků vibračních zkoušek. Aktualizace 2014-02-08.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

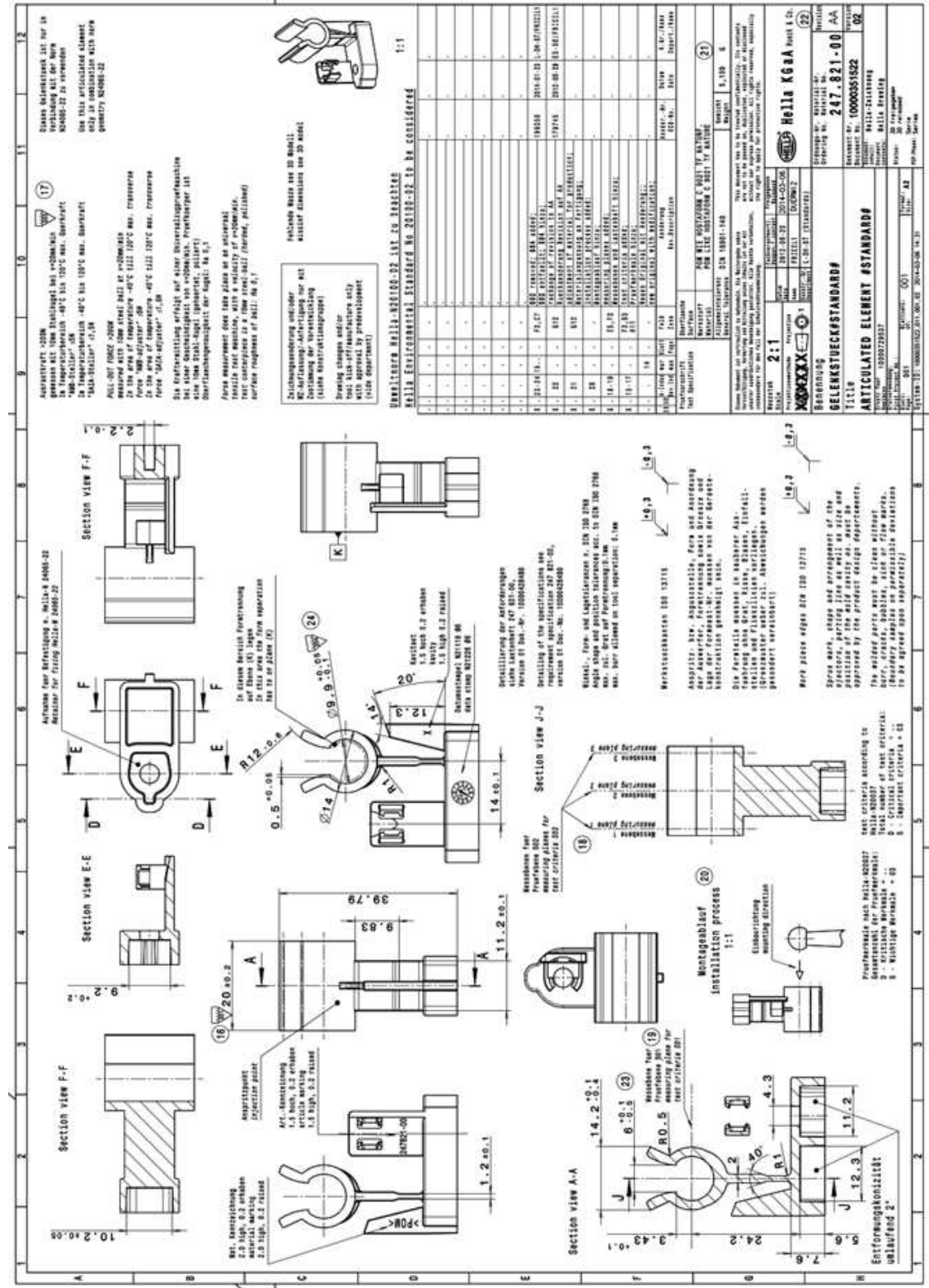
Zkratka	Německý / Anglický název	Český název
CAD	Computer Aided Design	Počítačem podporovaný návrh
CAE	Computer Aided Engineering	Počítačem podporované inženýrství
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačem podporovaná výroba
FEM	Finite Element Method	Metoda konečných prvků
GF	Glass Fibre	Skelné vlákno
H	Horizontal line	Horizontála, vodorovná čára
HDG	Hell Dunkel Grenze / CutOff line	Hranice světla a tmy
HV	Horizontal and Vertical line	Horizontála a vertikála
LED	Light Emitting Diode	Světlo vydávající dioda
LPP	Low Profile Polymer	Nízkoprofilový polymer
MKP	—————	Metoda konečných prvků
NHV	Noise, Vibration and Harshness	Hluk, chvění a drsnost
PBT	Polybutadiene terephthalate	Polybutadien teraftalát
POM	Polyoxometylen	Polyoxomethylen
PP	Polypropylen	Polypropylen
PSD	Power Spectral Density	Výkonová spektrální hustota
SAE	Society of Automotive Engineers	Společnost automobilních inženýrů
V	Vertical line	Vertikála, svislice

SEZNAM PŘÍLOH

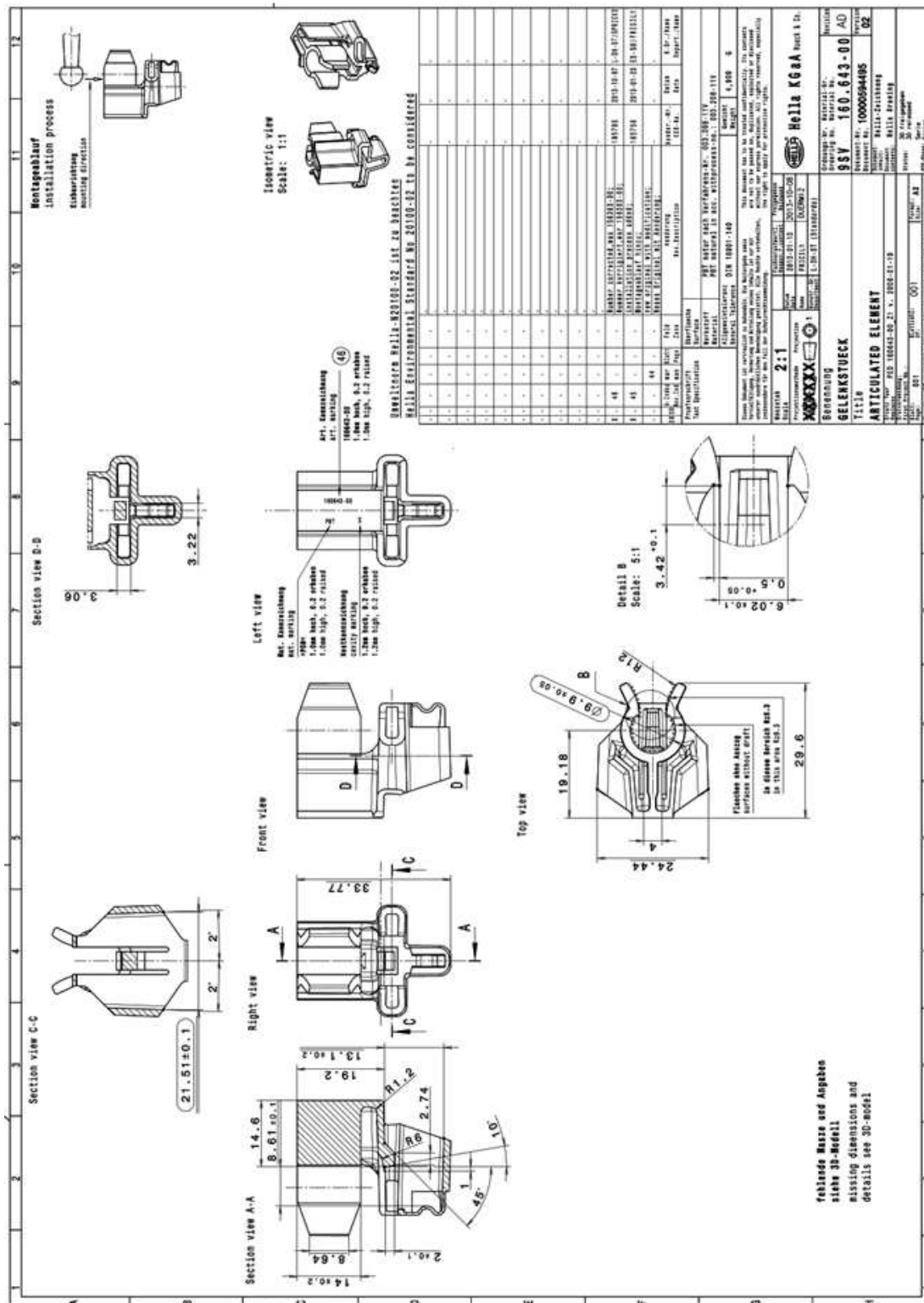
- Příloha 1 Výkres nastavovacího elementu – varianta 1.
- Příloha 2 Výkres nastavovacího elementu – varianta 2.
- Příloha 3 Výkres nastavovacího elementu – varianta 3.
- Příloha 4 Varianta 3 – Moldflow, simulace tečení materiálu.
- Příloha 5 Varianta 3 – Nástroj (forma).

PŘÍLOHA 1

Výkres nastavovacího elementu – varianta 1.

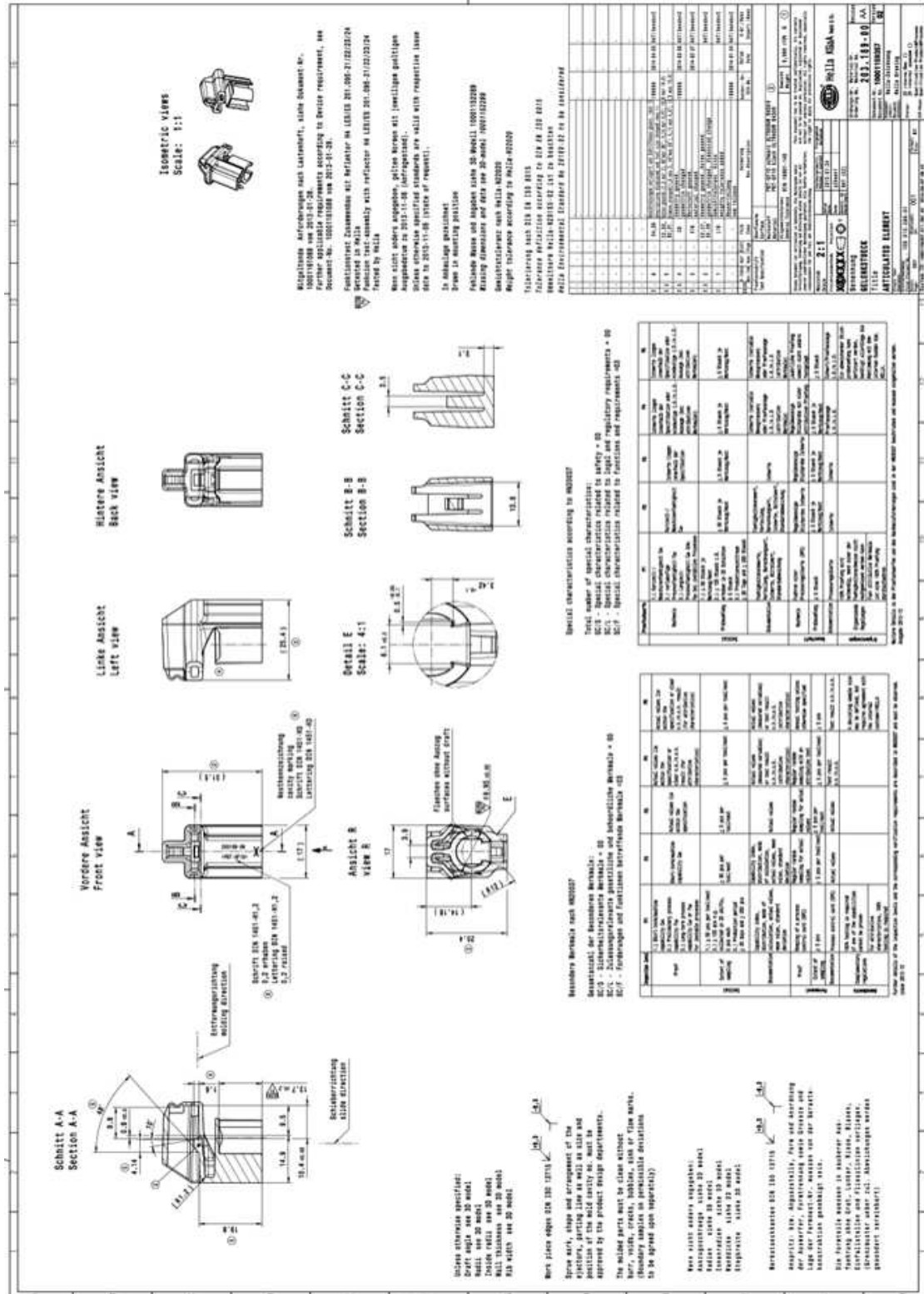


Výkres nastavovacího elementu – varianta 2.



PŘÍLOHA 3

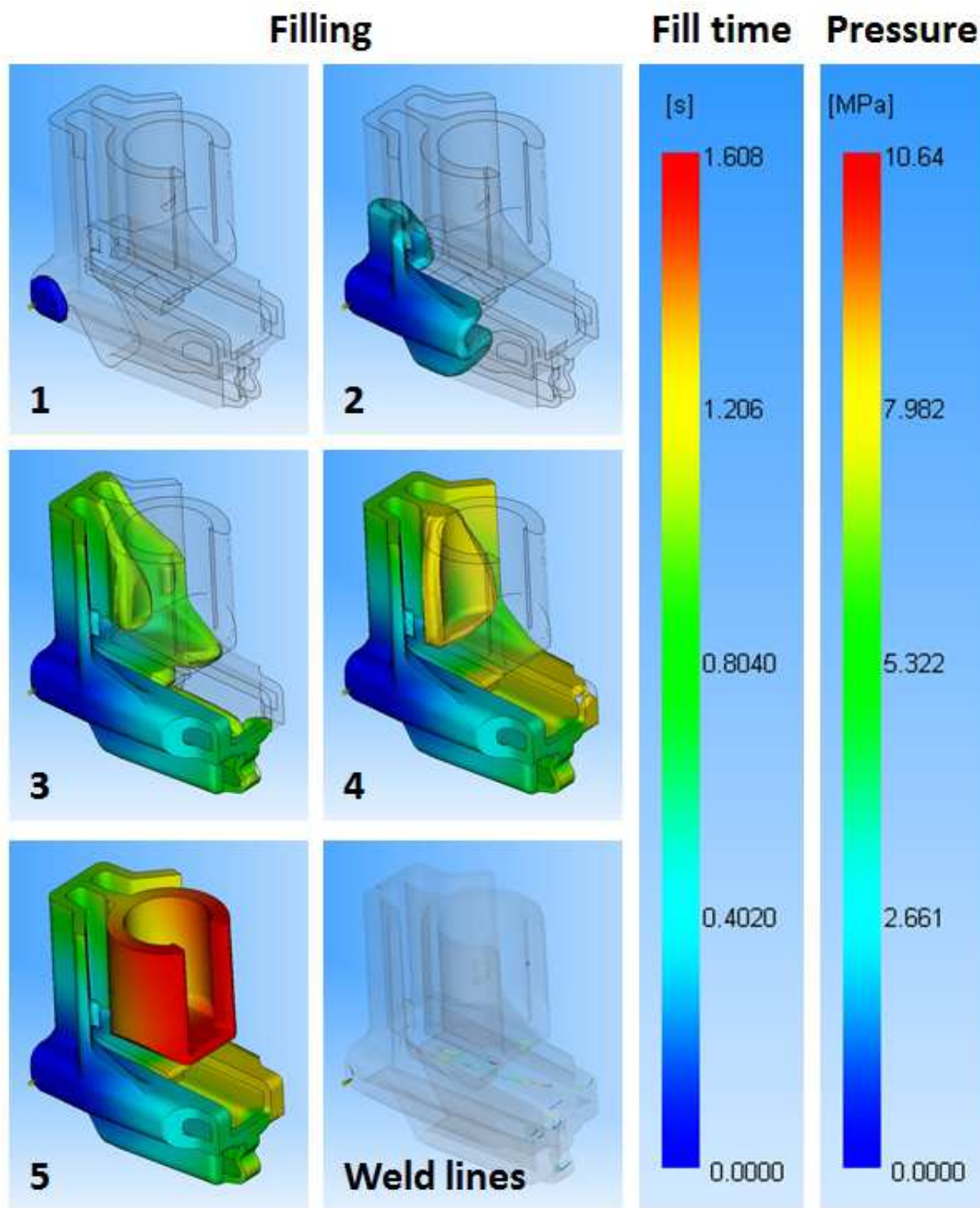
Výkres nastavovacího elementu – varianta 3.



PŘÍLOHA 4

Varianta 3 – Moldflow, simulace tečení materiálu.

Na obrázku je znázorněna pozice vstřikovacího bodu, průběh tečení materiálu, studené spoje, plnicí čas a potřebný tlak pro zatečení materiálu.



PŘÍLOHA 5

Varianta 3 – Nástroj (forma).

Na obrázku je znázorněna osminásobná (8 kavit) forma pro nastavovací element.

